



Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

The present invention relates to fashion-coupled fiber lasers to the generation of Femtosekunden and spades eye customer pulses and in particular on fashion-coupled fiber laser, which doublebemantelte, with laser diode fields pumped fibers use.

Fashion-coupled fiber lasers become generally considered as ideal candidates for compact field-suitable sources of Femtosekunden and spades eye customer pulses. However the possible commercial success of any very fast technology on the basis depends on fiber lasers considerable laser drafts simple of the availability, which in costs and complexity can compete with alternative solutions. For this purpose passive fashion-coupled fiber lasers are attractive in particular, since they do not require for their operation of expensive modulating means.

Since over passive fashion-coupled fiber lasers first of M.E. Fermann, M. Hofer, F. Haberl, A.J. Schmidt and L. Turi in "additive pulse compression mode locking OF A neodymium fiber laser" in optics Letters, volume. 16, No. 4 (1991) reported, became two systems developed, which promise commercial viable appearing passive fashion-coupled fiber lasers to the generation of Femtosekunden pulses, became; see M.E. Fermann, L.M. Yang, M.L. Stick and M.J. Andrejco, "Environmentally stable Kerr type mode locked erbium fiber laser producing 360-fs of pulse" in optics Letters, volume. 19, No. 1 (1994), in the following as system 1 referred, and E.A. DeSouza et al., "Saturable absorber mode locked polarization Maintaining erbium doped has a temperature to laser", in Electronics Letters, volume. 29, No. 5 (1993), in the following referred as system 2.

Two various systems developed, which promise commercial viable spades eye customer pulsed lasers, became; see M.E. Fermann, K. Sugden and I. Bennion, "High power soliton fiber laser based on pulses width to control with chirped fiber Bragg gratings", in optics Letters, volume. 20, No. 2 (1995), in the following as system 3 referred, and B.C. Bar-nicely et al., "Highpower erbium doped fiber laser mode locked by A semiconductor saturable absorbers", in optics Letters, volume. 20, No. 5 (1995), in the following as system 4 referred.

▲ top

The systems 2 and 4 are based on a saturable absorber for an initiation of fashion interconnection and also for a stationary and/or. continuous pulse shaping. In the contrast to it turn the systems 1 and 3 a saturable absorber only to the initiation of the fashion interconnection and obtained stationary and/or. continuous pulse shaping by nonlinear polarization development in the fiber. Favourable way the systems 1 and 3 an additional compensation pattern on the basis of two Faraday rotating means, of linear and nonlinear polarization shifts the strong suppressed contain.

In the prevailing spades eye customer system possible system 3 the formation of a wide range of pulse widths simple by change of the resonator-internal dispersion with a gechlpten Fahrer Bragg grating (CFBG); see z. B. M.C. Farries, K. Sugden, D.C.J. Reid, I. Bennion, A. Malony and M.J. Goodwin in "Very broad reflection bandwidth (44nm) chirped fiber gratings and narrow band-pass filter of filter produced by the use OF at amplitude MASK", Electronics Letters, volume. 30, No. 11 (1994).

While these systems in the laboratory very good function, this system from commercial view only of small interest, there these systems are expensive pump sources, as for example Ion or solid and/or. Semiconductor laser, main oscillator achievement amplifier laser diodes ("master oscillator power of amplifier lasers of diodes") or also high speedconnected single fashion diode lasers ("high power pig tailed single mode diode of laser") need. In the contrast in addition can passive fashion-coupled solid body and/or. Semiconductor lasers, which produce similar pulse widths, routine with little costing multiple strip laser diode fields for a wide range pumped become, as from K.J. Wine garden, And. Cellar, to hands Chiu and J.F.Ferguson in "Passively mode locked diode pumped laser that use would solvent-do absorbers" saturable at antiresonance Fabry Perot, optics to Letters, volume. 18, No. 8 (1993), and D. Head, K.J. Wine garden, L.R. Brovelli, M. Kamp and And. Cellar in "diode pumped 100-fs passively mode locked CR: LISAF laser with at antiresonance Fabry Perot saturable absorbers", optics Letters, volume. 19, No. 24 (1994) disclosed. The feasibility of pumping with laser diode fields makes passive fashion-coupled solid and/or. Semiconductor laser despite their typically significant larger physical dimensions very attractive.

In order to minimize the costs, fashion-coupled fiber lasers should use laser diode fields. Indeed it is for a long time known that continuous operation fiber lasers by means of laser diode fields pumped to become to be able, if a

doppeltbemanterte structure becomes fiber draft used; see z. B. US patent No. 4,815,079 of Snitzer et al. In accordance with Snitzer et al. the fiber is sketched in such a manner that it possesses two claddings, whereby the outer shell possesses a low refractive index and the inner shell a significant higher refractive index, which leads to a typical numerical aperture for light guide by the inner shell between 0,20 and 0,60. The fiber core possesses then a likewise higher refractive index and is within inner shell disposed, so that the core place is significant opposite the center of the inner shell shifted.

Snitzer et al. reveal alternative that the inner shell almost exhibits one rectangular shape. These two designs place safer that into the inner shell transferred light as often crosses the fiber core as possible, so that the light can become effective absorbed, if the fiber core with a reinforcing material from rare earths is doped. The fiber core can be then as einmodig sketched. As sequence of it a einmodiges laser output signal can become obtained, if the fiber in a resonator mechanism becomes disposed. It is to be noted however that a perfect acceptable embodiment of doppeltbemanterten fibers with center-symmetric fiber structures, D. h. one in the center of the inner shell disposed fiber core, recent were demonstrated; H. Zelmer, And. Willamkowski, A. Tunnerman and H. Welling, "High power cw neodymium doped double clad fiber of laser", CLEO 95, PAPER CMB4. Such pumping patterns became in the US patent No. 3,808,549 of bricklayer before predicted. The fiber draft can then on an a fashion standard fiber with a coating with low index (as for example silicone rubber), which actual before coming of acrylate coatings of the Industriestanda for the fiber production was, reduced to become.

Passive fashion interconnection became recent demonstrated in such center-symmetric doppeltbemanterten neodymium-doped fibers, which become coat-pumped by means of of multiple strip laser diode fields; M. Minden et al. in "Long pulses coherent waveforms from A fiber laser", CLEO 95, PAPER CTuR2. In particular non-GEC here PSE a fiber lattice with low bandwidth used, over the bandwidth of the generated pulses to limit, became and a saturable absorber became both for the impulse initiation and for the stationary and/or. continuous pulse shaping used. However no schemes for the compensation of linear and nonlinear polarization shifts in the resonator used and it became could only pulse widths of SIMILAR 500 psec and prolonged generated become. Furthermore no mechanism contained of the resonator-internal dispersion to the control and no mechanism were to the suppression of coat fashions in this work. Therefore it was so far not possible in this work to design coat-pumped fiber lasers the Femtosekunden or spades eye customer pulses produces.

It is an object of the instant invention to produce Femtosekunden and spades eye customer pulses from doppeltbemanterten fiber lasers pumped with wide range laser diode fields to. The use of doppeltbemanterten fibers the simplified coupling of pump power into the fiber core significant, while the possibility of the fabrication of a high speed fiber oscillator mechanism remains existing. The disclosed and stressed new system compensated linear birefringence of the doppeltbemanterten fiber favourably, which leads to a compensation of linear nonlinear polarization shifts in such fibers.

Experimental results show that led coat fashions in such fibers are inclined to it, a pure passive fashion interconnection of the Kerr type (D. h. to avoid a passive fashion interconnection without the use of a saturable absorber), even if fashion stripping mechanisms become used. The disclosed embodiments show optimum positions for the incorporation of fashion stripping mechanisms. The oscillation of Femtosekunden and Pikosekunden Soliton pulses in the oscillator A SMELLING DOING according to the present invention becomes by use of a suitable extent of dispersion in the resonator and use of a combination of pulse shaping induced by nonlinear polarization development and a saturable absorber ensured. With alternative arrangements the system contains active fashion-coupled fiber laser, fiber ring laser and more general resonator drafts.

▲ top

The managing and other objects, features and advantages of the invention become from the subsequent detailed description from at present preferred embodiments in connection with the drawing obvious.

Show:

Fig. 1 the structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber laser system in accordance with a first embodiment of the instant invention,

Fig. 2 autocorrelation curves (Fig. 2A) and corresponding impulse spectra (Fig. 2B) of generated pulses with a half width of 560 fsec,

Fig. 3 autocorrelation curves (Fig. 3A) and corresponding impulse spectra (Fig. 3B) of generated pulses with a half width of 3 psec,

Fig. 4 the structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber laser system in accordance with the first embodiment of the instant invention, which contains a co-ordination element and a second Bragg grating,

Fig. 5 the structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber laser system with a dispersion-compensated resonator in accordance with a second embodiment according to invention,

Fig. 6 the structure of a coat-pumped active fashion-coupled fiber laser system in accordance with a third

embodiment according to invention,

Fig. 7 the structure of a coat-pumped active fashion-coupled fiber laser system with a ring resonator in accordance with a fourth embodiment according to invention,

Fig. 8 a double passage structure of a coat-pumped fashion-coupled fiber laser system in accordance with a fifth embodiment according to invention,

Fig. 9 the structure of a coat-pumped passive fashion-coupled chamfering laser system in accordance with a sixth embodiment according to invention,

Fig. 10 an alternative structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber laser system in accordance with a sixth embodiment according to invention, and

Fig. 11 a structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber laser system in accordance with a seventh embodiment according to invention.

Fig. 1 the illustrated structure of a coat-pumped passive fashion-coupled fiber oscillator mechanism, the Femtosekunden or spades eye customer pulses generated, in accordance with a first embodiment of the instant invention. In the system in accordance with the first embodiment according to invention will not be attempted to compensate the dispersion of the reinforcing fiber; a dispersion-compensated resonator becomes in the following in connection with Fig. 4 described. With the arrangement in accordance with Fig. 1 becomes single piece a one it < 3+ > - doped, with Yb < 3+ > sensitive made fiber 101 as a reinforcing material used, around pumps it < of the 3+ > over an energy transfer of the Yb < 3+ > to make possible; see IEEE Photonics Technology Letters, "diode array Pumping OF it < to 3+ > /Yb < 3+ > CO-doped fiber of laser and Amplifiers", J.D. Minelly et al., volume. 5, No. 3 (1993).

A too preferable structure it contains 3+ of the fiber < 101 > and Yb < 3+ > Endowment level of 800 ppm and/or. 8000 ppm in a Phosphoaluminosilikatglass base material. The core diameter of the fiber amounts to 6 μ m with a numerical aperture (WELL) of 0,16. The inner shell possesses a diameter of 100 μ m and is with silicon rubber coated, in order to give to the inner shell an effective numerical aperture from 0,4 to. In accordance with this structure the fiber core is in the center of the fiber 101 disposed, in order to permit the possibility of a formation of splices with low loss in the doppeltbementelten fiber 101. Nothing the defiance becomes an effective absorption of oblique jets of the pump laser by rolling the fiber 101 on a drum with a diameter of 3,5 cms achieved up; therefore the fiber length in the oscillator means on 7,7 m can become reduced. The inventors of the instant invention found out experimentally that a good laser function with reinforcement-fiber-prolonged between 5 to 10 m achieved can become. It became found that a such fiber due to a small Elliptizität and/or. Flattening of the fiber core and an own and/or. Residual stress between the fiber core and cladding by the manufacturing process a birefringence of Δn SIMILAR $1,5 \times 10^{-6}$ shows, what to a interference-prolonged of SIMILAR with the signal wavelength of 1,56 μ m leads 10 cms.

▲ top

Further becomes in accordance with Fig. 1 the fiber 101 over lenses 108 and 109 and a dichroic mirror 102 of a 1W, 100x1 μ m wide range standard laser diode field 103, which works at a wavelength of 976 Nm, pumped. The dichroic mirror 102 knows for example a transmissivity of > 80% with the wavelength of 976 Nm possess and thus a passage of the pumped light permit, and a reflection > 98% with the signal wavelength of 1,56 μ m and thus of the fiber outgoing and of the mirror the 106 reflected signals reflect. With use of an imaging system (the lenses 108 and 109) with a magnification of 1 a couple efficiency to up can become 60% into the inner shell of the active fiber 101 achieved. The curvature of the mirrors 102 and 106 and the focal lengths of the lenses 108 and 109 preferred selected, in order to result in an optimum coupling of the pumped light of the diode array 103 into the doppeltbementelte fiber 101.

As in Fig. 1 shown, becomes a fashion stripping mechanism 104 at the opposite end of the fiber 101 incorporated, as the silicon rubber coating becomes replaced by a substance with high Index, as for example Akrylat or a liquid with a higher refractive index than the inner shell. The fashion stripping mechanism 104 functions, in order to absorb coat fashions in the oscillator means strong. The ends of the doppeltbementelten fiber 101 will in an angle of approximate 10 DEG cut, in order to avoid a feedback into the laser diode field 103 and to eliminate unwanted feedback into the doppeltbementelte fiber 101.

The GEC here PSE fiber Bragg grating (CFBG) 105, which becomes in the following precise described, is at an end of the Resonators in Fig. 1 shown. The focal length of the lens 112 becomes in such a manner selected that an optimum coupling of the signal light into the GEC here PSE fiber Bragg grating 105 made. As an alternative the system can become in accordance with the first embodiment optional applied, as the GEC here PSE fiber Bragg grating becomes 105 replaced by a mirror (not shown). With this arrangement will the curvature of the mirror as well as the focal length of the lens 112 preferred selected, in order to achieve an optimum reflection of the signal light of the mirror back into the core of the doppeltbementelten fiber 101.

To the compensation of linear polarization shifts in the fiber resonator contains the resonator draft preferred-proves two Faraday rotating means 113 and 114, as they become 1 used in the managing described system. Despite the

low birefringence of the fiber 101 found became that, if it were only wound also environment-induced could become nonlinear polarization changes in the fiber 101 minimized. This permitted favourably the use of nonlinear polarization development as the stationary and/or. continuous fashion interconnection mechanism (see system 1), while further a resonator draft stable regarding the environment became obtained. As in that managing described system 1 the required phase pre-loading between the two polarization own fashions of the fiber can by positioning of the quarter wave plate 115 and the half wave plate 116, as shown, and tricks of them into an appropriate angle achieved become.

Without the GEC here PSE fiber Bragg grating 105 will the Dispersion of the resonator controlling by the fiber dispersion controlled and became as D2 SIMILAR 0.2 psec estimated, D. h. the fiber was soliton supporting. The resonator-internal dispersion can by optional inserting of the 5 mm of prolonged negative gechirpten fiber Bragg grating 105, as in Fig. 1 shown, lowered become.

The grating 105 possesses preferred-proves a bandwidth of 17 nm, is with SIMILAR 1.56 μm centered, possesses a dispersion of $-3.40 \text{ HP} < \text{of } 2 >$ and a point reflection value of SIMILAR 90%. The light back-thrown to the resonator-internal polarization mechanism 117 is more usable as the output. A rotatable quarter wave plate (not shown) can become optional between the polarization mechanism 117 and the gechirpten fiber Bragg grating 105 (or the optional mirror) inserted, around an adaptable output signal coupling in in Fig. 1 opposite direction shown to obtained.

It became found that without the fiber lattice 105 (D. h. with a mirror) the fiber laser maximum continuous output power of 60 mW generated; fiber output signal, which is hardly refraction-limited (to more than 99%). However typically coat fashions do not become complete suppressed, also with presence of a fashion stripping mechanism 104 due to the doppeltbemanntelten structure. Furthermore scattered light of the fiber core (due to fiber inhomogeneities and the strong bend applied to the fiber 101) can become also in the cladding trapped and lead a inkohärenten background with very much low level with the fiber output signal. In particular with any fiber these continuities (z. B. Faserspleis) can a fraction of this background, which is proportional to $1/N$, whereby N is the entire number of fashions in the cladding, into the fundamental mode is fed back.

The incoherent background with low level works as a strong injection signal for continuous operation of the laser and therefore is the initiation of fashion interconnection bottom such conditions typically difficult, as from H.A. House and E.P. Ippen, optics Letters, volume. 16, S. 1331 (1991) reported. Indeed the inventors of the instant invention found out the fact that any experiments failed to initiate a fashion interconnection of the Kerr type in that managing described resonator by Ozillieren one the resonator mirror (like it in the system 1 happened).

According to invention the fashion interconnection can by taking up a saturable absorber 118 at an end of the resonator, like in Fig. 1 shown, initiated become. The saturable absorbers 118 can on InGaAsP be based, as in the systems 2 and 4 (see also H. Lin et al., CLEO 95, PAPER JTUE1). The radiation treatment is required, in order to reduce the lifetime of the saturable absorber; generally the present inventors found out that the charge carrier lifetime of the saturable absorber is preferred ten times short as the resonator scan time in the laser.

▲ top The lenses 111 and 110 can become the focus of the signal light at the saturable absorber used, whereby a focus diameter of between 2 and 30 μm on the absorber preferred-proves used in this special system becomes.

In the presence of the saturable absorber 118 incipient modenverkoppelter procedure can become a reliable achieved, although the laser still polarization-sensitive is (D. h. sensitive on the adjustment of the quarter and half wave plates 115 and 116), which indicates that the absorber 118 steers the beginning characteristic of the fashion interconnection procedure, whereas a nonlinear polarization development the stationary and/or. continuous pulse shaping predominantly steers. It is to be noted however that both the nonlinear polarization development and the saturable absorbers 118 play a large role in the impulse education procedure.

A reduction in the polarization sensitivity of the system can become by means of reduction of the focus diameter on the saturable absorber 118 achieved. However this results in a lower damage threshold of the saturable absorber 118 connected thereby. Therefore optimized, dependent of it become the meeting of a compromise of the focus diameters on the saturable absorber preferred-prove somewhere in the region between 2 and 30 μm whether polarization sensitivity or the damage threshold becomes as for a special system at the most important considered.

Similar one results the removal of the Farady rotating means in a large reduction in laser stability, there the large birefringence in the fiber 101 the formation of any stable pulse shaping by nonlinear polarization development prevented. The single stable pulses receiptable in this case possess widths in the order of magnitude of 10 fachen psec, which indicates that they become predominant formed by the saturable absorber, whereas the distribution of the nonlinear polarization development is insignificant.

Fig. an autocorrelation curve (Fig shows 2. 2A) and the corresponding spectrum (Fig. 2B) with the resonator draft in accordance with Fig. 1 of generated pulses in the absence of a filter lattice 105. The pulse width amounts to 560 fsec and the time range product is 0.32, if $\text{sech} < 2 >$ - form assumed becomes. The pulse energy amounts to 40 pJ. With the repeating rate of 13 MHz this corresponds to a middle output power of 500 μW . With this structure a single pulse enterprise can become by operation of the laser diode with a pump power of only SIMILAR 150 mW ensured. The maximum stability system for the single pulse enterprise becomes in this case for a pump power put on between

148 and 151 mW obtained, D. h. the pump power must become controlled that it lies within $\pm 1\%$.

Fig. an autocorrelation curve (Fig shows 3. 3A) and the corresponding spectrum (Fig. 3B) in the presence of the fiber lattice 105 (as in Fig. 1 of shown) generated pulses. The pulse width amounts to 3 psec and the time range product 0.32, the bottom assumption sech^2 - form. The pulse energy amounts to 1 nJ. With the repeating rate of 13 MHz this corresponds to a middle output power of 13 mW. With this structure a single pulse enterprise can become by actuation of the laser diode with a pump power from 800 mW ensured. Here the pump power must become within only $\pm 10\%$ controlled (D. h. 730 to 880 mW), in order to guarantee the single pulse enterprise. In the presence of the fiber lattice 105 the laser according to invention in the absence of the fashion stripping mechanism 104 satisfactory functions, as an effective fashion stripping by the mono fashion fiber performed disposed before the fiber lattice 105 becomes.

The structure of the first embodiment serves only as an example for a special resonator draft, that the generation of Femtosekunden and spades eye customer pulses permitted. Likewise any other doppeltbemanterte fiber than a reinforcing material used, doped with rare earths, can do will and can also passive be fashion-coupled, in order to produce spades eye customer and Femtosekunden pulses. In order to guarantee the function of the system in the Soliton system, negative GEC here PSEs a fiber Bragg grating added can become. Furthermore easily wavelength co-ordination elements between the polarization mechanism 117 and the lens can become 112 inserted, in order to co-ordinate the emission wavelength of the laser. Similar ones can become wavelength co-ordination elements into any disclosed embodiments received. The wavelength co-ordination elements can become from many available mechanisms, as for example etalons, optical filters, birefringent co-ordination plates and bulky gratings ("bulk gratings") selected. By combination (or several) of a wavelength co-ordination element (E) with a second (or several) Bragg grating (n) also pulses can become with two (or more) various wavelengths obtained. An example for a resonator draft with two Bragg gratings 105 and 119 and a wavelength co-ordination element 120 is in Fig. 4 shown. It is to be noted however that the second Bragg grating can become omitted, if only wavelengthtunable single wavelength laser is a desired.

Fig. 5 an illustrated second embodiment of the instant invention. Into the Fig. 5 to 11 becomes the elements shown in the preceding figs similar elements with the same reference numerals referred. In accordance with this embodiment a simplification of the system knows the rear polarization mechanism by positioning of the saturable absorber 118 at an end of the resonator, and by positioning of an integrated Faraday rotating mirror mechanism (FRM) 202 at the other end of the resonator, like in Fig. to the generation of Femtoimpulsen. 5 shown, realized become. By the bandwidth of the reinforcing material (D. h. the fiber 101) limited pulses 201 with positive (negative) dispersion obtained can become, in order to make the entire resonator dispersion zero by combination of a length of a coat-pumped fiber with negative (positive) dispersion with a length of an undoped standard mono fashion fiber. Here it is also favourable to arrange any not-birefringent fiber direct before the Farada turning mirror 202 in order to minimize the environment sensitivity of the resonator. For example a length of the Er/Yb fiber 101 knows 5 m (like bottom reference on Fig. 1 discussed) and a length of 0,80 m a fiber with high positive dispersion 201 used will, in order to make the entire resonator dispersion more approximate zero. In this case range-limited Gauss-shaped pulses with pulse energies are more achievable to 50 pJ and pulse widths to down to 170 fsec to up.

Fig. 6 represents a structure in accordance with a third embodiment. By inserting additional acoustooptical or electrooptical modulating means into the resonator an active modenverkoppelter coat-pumped fiber laser can become constructed. Such modulating means 301, 302 can convenient-prove either at the right or left end of the resonator, like in Fig. 6 shown, disposed become. Preferred way can become a wire-connected ("pig tailed") fiber modulating means only on the left side of the resonator inserted, in order to guarantee a compact system. A mirror 303 could become then selected to only partly reflect over the signal light and could thus than an output coupling mechanism used become.

Fig. 7 an illustrated fourth embodiment of the instant invention. As in Fig. 7 shown, the doppeltbemanterte fiber 101 also part of a ring resonator can be, around a fashion-coupled ring laser to obtained. In principle a colliding fashion-coupled impulse function can become shown in this case obtained, by the saturable absorbers 118 110 disposed between the lenses 111 and becomes, as. However it is to be noted that linear polarization shifts in this resonator do not become compensated and therefore the long-term stability of this resonator limited can be. However modulating means can become 301 somewhere within the ring disposed traversed of the signal light in this type of resonator. The environment stability of the ring resonator can become by use of a high-birefringent fiber by the resonator ensured. Around the oscillation of the laser in a single polarization state sicherzustel a polarization mechanism (not shown) can become inserted, whereby its axes are aligned after one of the fiber axes. A laser output signal could become obtained, as either the mirrors become 102 or 106 semireflecting made or a fiber couple mechanism is gespleisst on the fiber 201.

With a fifth embodiment the doppeltbemanterte fiber becomes 101 inserted into a variety of resonator drafts, whereby the doppeltbemanterte fiber 101 in a double path structure in connection with a Faraday rotating mirror mechanism used will, in order to compensate polarization shifts in the resonator. A general design of a such resonator is in Fig. 8 shown. The fashion interconnection mechanism 501 disposed between the mirrors 102 and 106 can be an totaloptical switch, a phase induced by an external optical source of impulse or amplitude modulation, one akusto or electrooptical modulating means or a saturable absorber. It is to be noted that any length can become the fixed monomode towards fiber also by means of splices at the doppeltbemanterten fiber. Here a resonator draft is shown, used with which the dichroic pumping mirrors 502 with the transmission of signal light becomes. It can become also a dichroic pumping mirror used, the signal lights reflected and pumping light lets through. A laser output victory could become by partial reflective making one the mirror 102 or 106 obtained.

In accordance with a sixth embodiment a low-birefringent doppelbemanterte fiber constructed, around a Femtosekunden laser system by removal the Faraday rotating means, becomes like in Fig. 9 shown to form. Alternative one can become with an optimized fiber and saturable absorber draft of the saturable absorbers 118 also direct with the mirror 601 assembled. The mirror 107 is then contained no saturable absorber. The mirror 502 could become in principle also eliminated and the pumping light could over a single dichroic polarization mechanism (not shown) into the resonator coupled become.

If the Faraday rotating means are remote, the GEC here PSE fiber Bragg grating can do 105 to the doppelbemanterten fiber 101, as in Fig. 10 shown, to be gespleisst. It is to be noted that by very much small making of the dispersion of the gechirpten fiber Bragg grating on a Femtosekundenlas can become in this way constructed. The output of a such laser can convenient-proves at a polarization mechanism 117 obtained to become, whereby the total fiber can become polarization control equipment matched, around which desired output z gives. It is to be noted however that will be limited as in a ring resonator the long-term stability of such systems, since linear polarization changes in the fiber resonator do not become compensated. Such stability problems can become by use of a saturable absorber m of a short charge carrier lifetime $< (100 \text{ psec})$ eliminated. Alternative one can become the entire resonator as high-birefringent fiber made. As is the case for the ring resonator then the polarization axes of all fibers aligned should be and should the polarization mechanism also to one of the polarization axes of the fibers aligned be. An output signal coupling can become then by a polarization preservation switch obtained.

In accordance with a seventh embodiment, with which the Faraday is rotating means remote, GEC here PSEs a fiber Bragg grating 701 direct in the fiber 101 formed can become, around a spades eye customer (or Femtosekunden) laser system, like in Fig. 11 shown to produce. The saturable absorbers 118 can become direct with end of the resonator assembled, in order to result in a very compact system. The mirror 107 and the saturable absorbers semireflecting made can become, in order to make an output signal coupling possible. Alternative one can become a fiber couple mechanism before the mirror 107 introduced, in order to produce an output signal coupling.

Summarized ones, became a Femtosekunden and a spades eye customer pulse production in doppelbemanterten with rare earths doped fiber, which become pumped of wide range laser diode fields, the first time demonstrated. The predominant use resonator components with low costs should increase the competitive ability of this technology significant. Although here numerous exemplary embodiments became shown and described, the expert will recognize that numerous modifications and changes are possible and it is intended that the invention is only limited by the appended claims.

It becomes a technique the generation of spades eye customer and Femtosekunden pulses of fashion-coupled doppelbemanterten fiber lasers disclosed coat-pumped with wide range laser diode fields. Using erbium/ytterbium fiber oscillator mechanism 560 fsec pulses with pulse energies of up to 40 pJ with a wavelength of 1560 nm generated become. In a dispersion-compensated resonator pulses become as short as 170 fsec with pulse energies of up to 50 pJ obtained. By addition of a gechirpten fiber Bragg grating for additional resonator-internal dispersion control pulse widths become 3 psec with pulse energies of up to 1 nJ obtained. A saturable absorber becomes the beginning of impulse used, whereby a nonlinear polarization development for a stationary and/or. continuous pulse shaping utilized becomes. A environment-stable design becomes ensured by use of birefringent barrel and a compensation pattern for linear and nonlinear polarization shifts in the resonator.



Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

1. Modenverkoppelter laser with:
a doppelbemanntelten in a resonator disposed and as a reinforcing material functioning fiber (101) to the generation of laser energy in the form of pulses more short as 100 psec,
a laser diode field (103), coupled with an end of the doppelbemanntelten fiber, to pumps of the doppelbemanntelten fiber with pumping light,
one within the resonator disposed reflector means (102) to the reflection of energy along an axis passing the doppelbemanntelte fiber,
output means (117) to the reception of within the resonator generated laser energy and to the output of a part of the laser energy,
a fashion interconnection initiation mechanism (118; 301, 302) to the initiation of a generation of short pulses in the resonator,
a mechanism (104) to the suppression of coat fashions in the doppelbemanntelten fiber, and
a mechanism (105; 201) to the control of the dispersion in the resonator.
2. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the fashion interconnection initiation mechanism contains a saturable semiconductor absorber.
3. Modenverkoppelter laser according to claim 2, whereby the saturable semiconductor absorbers at an end of the resonator disposed is semireflecting and, in order to produce an output signal coupling.
4. Modenverkoppelter laser according to claim 2, whereby within the resonator contained fibers a birefringence of less than 5×10^{-7} possess, and which exhibits saturable semiconductor absorbers a charge carrier lifetime of less than 100 psec.
5. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the fashion interconnection initiation mechanism is one akusto optical or electrooptical modulating means (301, 302), those with an external optical source of impulse an amplitude or a phase modulation induced.
6. Modenverkoppelter laser according to claim 1, with a mechanism (113, 114) to the compensation of linear phase shifts within the doppelbemanntelten fiber.
7. Modenverkoppelter laser according to claim 6, whereby the doppelbemanntelte fiber a birefringence of large as 1×10^{-7} possesses, in order to stabilize nonlinear pulse shaping by nonlinear polarization development in the presence of the mechanism to the compensation of linear phase shifts in the resonator.
8. Modenverkoppelter laser according to claim 7, with a quarter wave plate (115) and a half wave plate (116), which becomes the control of a linear phase delay between two polarization own fashions of the doppelbemanntelten fiber used.
9. Modenverkoppelter laser according to claim 6, how
the mechanism to the compensation (113, 114) of linear phase shifts first and second Faraday rotating means disposed within the resonator exhibit, whereby the first Faraday rotating means are disposed to an end of the resonator and are the second Faraday rotating means to the other end of the resonator disposed, and
the laser further between the first Faraday rotating means and end of the resonator disposed polarization mechanism (117) exhibits.
10. Modenverkoppelter laser according to claim 9, with a quarter wave plate (115) and a half wave plate (116), which becomes the control of a linear phase delay between two polarization own fashions of the doppelbemanntelten fiber used.

▲ top

11. Modenverkoppelter laser according to claim 9, with between the polarization mechanism and end of the resonator disposed half wave plate (116), whereby the half wave plate forms an adaptable output coupling.

12. Modenverkoppelter laser according to claim 6, whereby the mechanism exhibits end of the resonator to the compensation of linear phase shifts to disposed first Faraday rotating means and a Faraday rotating mirror mechanism disposed at the other end of the cavity, whereby the fashion-coupled laser exhibits further between the first Faraday rotating means and end of the resonator disposed polarization mechanism (117).

13. Modenverkoppelter laser according to claim 12, with a fiber with low birefringence with a birefringence of less than 1×10^{-7} , whereby the fiber with low birefringence before that is Faraday rotating mirror mechanism disposed.

14. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the mechanism is to the control of the dispersion a dispersion compensation fiber (201).

15. Modenverkoppelter laser according to claim 14, whereby the dispersion compensation fiber at an end of the resonator is gespleisst.

16. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the mechanism is to the control of the dispersion GEC here PSE a fiber Bragg grating.

17. Modenverkoppelter laser according to claim 16, whereby the GEC here PSE fiber Bragg grating is direct in the doppelbemanterten fiber formed, so that the doppelbemanterte fiber becomes over the GEC here PSE fiber Bragg grating pumped.

18. Modenverkoppelter laser according to claim 16, whereby the GEC here PSE fiber Bragg grating is gespleisst to an end of the resonator.

19. Modenverkoppelter laser according to claim 16 with second within the resonator disposed geschirpten fiber Bragg gratings.

20. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the doppelbemanterte fiber is one with material from rare earths doped glass fiber.

21. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the spending mechanism (303) is a fiber couple mechanism used for expenditure coupling.

22. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby within the resonator contained fibers are polarization-maintaining, with a linear birefringence of large as 5×10^{-7} and aligned polarization axes, whereby the laser exhibits further a polarization mechanism also in one of the polarization axes of the fibers aligned axis.

23. Modenverkoppelter laser according to claim 1, whereby the resonator is a ring resonator and the fashion-coupled laser exhibits further monomode fibers and fashion interconnection a mechanism, which is disposed within the ring resonator.

24. Modenverkoppelter laser according to claim 1, also a Faraday rotating mirror mechanism (202) to the compensation of linear phase shifts in the doppelbemanterten fiber and a polarization mechanism and a half wave plate, which form together a compensation for the 90 DEG polarization turn induced by the Faraday rotating mirror mechanism, exhibits.

25. Modenverkoppelter laser according to claim 1, with a tuner (120) to the wavelength tuning of a output wave-prolonged, whereby the tuner exhibits at least one of etalons, optical filters, birefringent co-ordination plates and bulky gratings.



RECEIVED
EINGEGANGEN

15. SEP. 2005

TBK PATENT

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 196 35 919.8
(22) Anmeldetag: 04.09.1996
(43) Offenlegungstag: 06.03.1997
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 08.09.2005

(51) Int.Cl.⁷: H01S 3/098
H01S 3/0941, H01S 3/067

DE 18377

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
523808 05.09.1995 US

(73) Patentinhaber:
IMRA America, Inc., Ann Arbor, Mich., US

(74) Vertreter:
TBK-Patent, 80336 München

(72) Erfinder:
Fermann, Martin E., Dr., Ann Arbor, Mich., US;
Harter, Donald J., Dr., Ann Arbor, Mich., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 45 244 A1

DE 44 27 005 A1

US 48 15 079

US 38 08 549

MINELLY, J.D., u.a.: Femtosecond pulse amplification in cladding-pumped fibers. In: Optics Letters, Vol. 20, No. 17, 1995, S. 1797-1799;
FERMAN, M.E., u.a.: Generation of 10 nJ picosecond

pulses from a modelocked fibre laser. In: Electronics Letters, Vol. 31, No. 3, 1995, S. 194-195;

FERMANN, M.E. u.a.: Additive-pulse-compression mode

locking of a neodymium fiber laser. In: Optics Letters, 1991, Vol. 16, Nr. 4, S. 244-246;

FERMANN, M.E. u.a.: Environmentally stable Kerr-Type mode-locked erbium fiber laser producing 360-

fs pulses. In: Optics Letters, 1994, Vol. 19, Nr. 1, S. 43-45;

DESOUZA, E.A. u.a.: Saturable Absorber Mode locked
Polarisation Maintaining Erbium-doped Fibre Laser.

In: Electronics Letters, 1993, Vol. 29, Nr. 5, S. 447-449;

FERMANN, M.E. u.a.: High-power soliton fiber laser based on pulse width control with chirped fiber Bragg gratings. In: Optics Letters, 1995, Vol. 20, Nr. 2, S. 172-174;

BARNETT, B.C. u.a.: High-power erbium-doped fiber

laser mode locked by a semiconductor saturable absorber. In: Optics Letters, 1995, Vol. 20, Nr. 5, S. 471-473;

FARRIES, M.C. u.a.: Very broad reflection bandwidth (44nm) chirped fiber gratings and narrow bandpass filters produced by the use of an amplitude mask. In: Electronics Letters, 1994, Vol. 30, Nr. 11, S. 891-892;

WEINGARTEN, K.J. u.a.: Passively mode-locked diode-

pumped solidstate lasers that use an antiresonant Fabry-Perot saturable absorber. In: Optics Letters, 1993, Vol. 18, Nr. 8, S. 640-642;

ZELLMER, H. u.a.: High-power cw neodymium-doped double-clad fiber lasers. In: CLEO 95, 1995, paper CMB4, S. 7; MINELLY, J.D. u.a.: Diode-Array

Pumping of Er³⁺/Yb³⁺ Co-doped Fiber Lasers and Amplifiers.

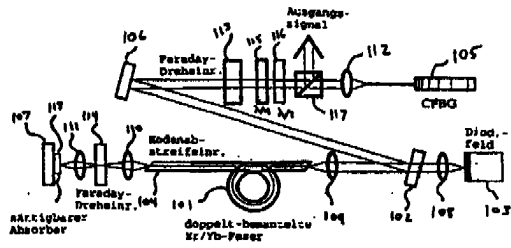
In: IEEE Photonics Technology Letters, 1993, Vol. 5, Nr. 3, S. 301-303; ###

(54) Bezeichnung: Vorrichtung zur Erzeugung von Femtosekunden- und Pikosekunden-Impulsen von mit Breitband-Laserdiodenfeldern mantelgepumpten modenverkoppelten Faserlasern

(57) Hauptanspruch: Modenverkoppelter Laser mit: einer doppeltbemannten, in einem Resonator angeordneten und als ein Verstärkungsmaterial funktionierenden Faser (101) zur Erzeugung von Laserenergie in Form von Impulsen, einem mit einem Ende der doppeltbemannten Faser ge-

koppelten Laserdiodenfeld (103) zum Pumpen der doppeltbemannten Faser mit Pumplicht, einer Ausgangseinrichtung (117) zum Empfang von innerhalb des Resonators erzeugter Laserenergie und zur Ausgabe eines Teils der Laserenergie, einer Modenverkopplungs-Initiierungseinrichtung (118);

sen in dem Resonator,
 einer Einrichtung (105; 201) zur Steuerung der Dispersion
 in dem Resonator, und
 einer Einrichtung (104) zur Unterdrückung von Mantelmo-
 den in der doppeltbemahtelten Faser.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf modenverkoppelte Faserlaser zur Erzeugung von Femtosekunden- und Pikosekunden-Impulsen und insbesondere auf modenverkoppelte Faserlaser, die doppelt-bemantelte, mit Laserdiodenfeldern gepumpte Fasern verwenden.

[0002] Modenverkoppelte Faserlaser werden im allgemeinen als ideale Kandidaten für kompakte Feld-geeignete Quellen von Femtosekunden- und Pikosekunden-Impulsen angesehen. Jedoch hängt der mögliche kommerzielle Erfolg irgendeiner sehr schnellen Technologie auf der Grundlage von Faserlasern beträchtlich von der Verfügbarkeit von einfachen Laserentwürfen, die in Kosten und Komplexität mit alternativen Lösungen konkurrieren können, ab. Zu diesem Zweck sind passiv modenverkoppelte Faserlaser insbesondere attraktiv, da sie für ihren Betrieb keiner teureren Modulationseinrichtungen bedürfen.

Stand der Technik

[0003] Seit über passiv modenverkoppelte Faserlaser zuerst von M.E. Fermann, M. Hofer, F. Haberl, A.J. Schmidt und L. Turi in "Additive-pulse-compression mode locking of a neodymium fiber laser" in Optics Letters, Vol. 16, Nr. 4 (1991) berichtet wurde, wurden zwei Systeme entwickelt, die kommerziell lebensfähig erscheinende passiv modenverkoppelte Faserlaser zur Erzeugung von Femtosekunden-Impulsen versprechen; siehe M.E. Fermann, L.M. Yang, M.L. Stock und M.J. Andrejco, "Environmentally stable Kerr-Type mode-locked erbium fiber laser producing 360-fs pulses" in Optics Letters, Vol. 19, Nr. 1 (1994), im folgenden als System 1 bezeichnet, und E.A. DeSouza et al., "Saturable Absorber Modelocked Polarisation Maintaining Erbium-doped Fibre Laser", in Electronics Letters, Vol. 29, Nr. 5 (1993), im folgenden bezeichnet als System 2.

[0004] Es wurden zwei verschiedene Systeme entwickelt, die kommerziell lebensfähige Pikosekunden-Impuls-Laser versprechen; siehe M.E. Fermann, K. Sugden und I. Bennion, "High-power soliton fiber laser based on pulse width control with chirped fiber Bragg gratings", in Optics Letters, Vol. 20, Nr. 2 (1995), im folgenden als System 3 bezeichnet, und B.C. Barnett et al., "Highpower erbium-doped fiber laser mode locked by a semiconductor saturable absorber", in Optics Letters, Vol. 20, Nr. 5 (1995), im folgenden als System 4 bezeichnet.

[0005] Die Systeme 2 und 4 beruhen auf einem sättigbaren Absorber für eine Initiierung von Modenverkopplung und auch für eine stationäre bzw. kontinuierliche Impulsformung. Im Gegensatz dazu verwenden die Systeme 1 und 3 einen sättigbaren Absorber

nur zur Initiierung der Modenverkopplung und erhalten eine stationäre bzw. kontinuierliche Impulsformung durch nichtlineare Polarisationsentwicklung in der Faser. Vorteilhafterweise enthalten die Systeme 1 und 3 zusätzlich ein Kompensationsschema auf der Grundlage von zwei Faraday-Dreheinrichtungen, das lineare und nichtlineare Polarisationsverschiebungen stark unterdrückt.

[0006] In dem vorherrschenden Pikosekunden-System ermöglicht System 3 die Bildung eines weiten Bereichs von Impulsbreiten einfach durch Veränderung der resonatorinternen Dispersion mit einem geschirpten Faser-Bragg-Gitter (CFBG); siehe z.B. M.C. Farries, K. Sugden, D.C.J. Reid, I. Bennion, A. Malony und M.J. Goodwin "Very broad reflection bandwidth (44nm) chirped fiber gratings and narrow bandpass filters produced by the use of an amplitude mask", in Electronics Letters, Vol. 30, Nr. 11 (1994).

[0007] Während diese Systeme im Labor sehr gut funktionieren, sind diese Systeme aus kommerzieller Sicht nur von geringem Interesse, da diese Systeme teure Pumpquellen, wie beispielsweise Ionen- oder Festkörper- bzw. Halbleiterlaser, Haupt-Oszillator-Leistungsverstärker-Laserdioden ("master-oscillator power amplifier laser diodes") oder auch Hochleistungs-angeschlossene Einzelmoden-Diodenlaser ("high-power pig-tailed single-mode diode lasers") benötigen. Im Gegensatz dazu können passiv modenverkoppelte Festkörper- bzw. Halbleiterlaser, die ähnliche Impulsbreiten erzeugen, routinemäßig mit wenig kostenden Mehrfach-Streifen-Laserdiodenfeldern für einen breiten Bereich gepumpt werden, wie von K.J. Weingarten, U. Keller, T.H. Chiu und J.F. Ferguson in "Passively mode-locked diode-pumped solidstate lasers that use an antiresonant Fabry-Perot saturable absorber", Optics Letters, Vol. 18, Nr. 8 (1993), und D. Kopf, K.J. Weingarten, L.R. Brovelli, M. Kamp und U. Keller in "Diode-pumped 100-fs passively mode-locked Cr:LiSAF laser with an antiresonant Fabry-Perot saturable absorber", Optics Letters, Vol. 19, Nr. 24 (1994) offenbart. Die Machbarkeit eines Pumpens mit Laserdiodenfeldern macht passiv modenverkoppelte Festkörper- bzw. Halbleiterlaser trotz ihrer typischerweise bedeutend größeren physikalischen Dimensionen sehr attraktiv.

[0008] Um die Kosten zu minimieren, sollten modenverkoppelte Faserlaser Laserdiodenfelder verwenden. In der Tat ist es schon lange bekannt, daß Dauerbetriebs-Faserlaser mittels Laserdiodenfeldern gepumpt werden können, wenn eine doppeltbemantelte Struktur beim Faserentwurf verwendet wird; siehe z.B. US-Patent Nr. 4 815 079 von Snitzer et al. Gemäß Snitzer et al. wird die Faser derart entworfen, daß sie zwei Mäntel besitzt, wobei der äußere Mantel einen niedrigen Brechungsindex und der inneren Mantel einen bedeutend höheren Brechungsindex besitzt, was zu einer typischen numerischen Apertur

tur Lichtleitung durch den inneren Mantel zwischen 0,20 und 0,60 führt. Der Faserkern besitzt dann einen ebenfalls höheren Brechungsindex und ist innerhalb des inneren Mantels angeordnet, so daß der Kernort bedeutend gegenüber dem Mittelpunkt des inneren Mantels verschoben ist.

[0009] Snitzer et al. offenbaren alternativ, daß der innere Mantel eine nahezu rechteckige Form aufweist. Diese beiden Entwürfe stellen sicher, daß in den inneren Mantel eingeschleustes Licht den Faserkern so oft wie möglich kreuzt, so daß das Licht wirkungsvoll absorbiert werden kann, wenn der Faserkern mit einem Verstärkungsmaterial aus seltenen Erden dotiert ist. Der Faserkern kann dann als einmodig entworfen sein. Als Folge davon kann ein einmodiges Laserausgangssignal erhalten werden, wenn die Faser in einer Resonatoreinrichtung angeordnet wird. Es ist jedoch zu beachten, daß eine perfekt annehmbare Ausführung von doppelbemantelten Fasern mit mittelpunktssymmetrischen Faserstrukturen, d.h. einem in der Mitte des inneren Mantels angeordneten Faserkern, kürzlich vorgeführt wurden; H. Zehmer, U. Williamowski, A. Tunnerman und H. Welling, "High-power cw neodymium-doped double-clad fiber lasers", CLEO 95, paper CMB4. Derartige Pumpschemas wurden in dem US-Patent Nr. 3 808 549 von Maurer zuvor vorausgesagt. Der Faserentwurf kann dann auf den einer Einmoden-Standardfaser mit einer Beschichtung mit niedrigem Index (wie beispielsweise Silikongummi), die tatsächlich vor dem Kommen vom Acrylat-Beschichtungen der Industriestandard für die Faserherstellung war, verringert werden.

[0010] Passive Modenverkopplung wurde kürzlich in derartigen mittelpunktssymmetrischen doppelbemantelten Neodym-dotierten Fasern, die mittels von Mehrfachstreifen-Laserdiodenfeldern mantelgepumpt werden, demonstriert: M. Minden et al. in "Long-pulse coherent waveforms from a fiber laser", CLEO 95, paper CTuR2. Insbesondere wurde ein nicht-gechirptes Fasergitter mit niedriger Bandbreite verwendet, um die Bandbreite der erzeugten Impulse zu beschränken, und ein sättigbarer Absorber wurde sowohl für die Impuls-Initiierung als auch für die stationäre bzw. kontinuierliche Impulsformung verwendet. Jedoch wurden keine Schemata für die Kompensation von linearen und nichtlinearen Polarisationsverschiebungen in dem Resonator verwendet und es konnten nur Impulsbreiten von ~ 500 psec und länger erzeugt werden. Des weiteren war in dieser Arbeit keine Einrichtung zur Steuerung der resonatorinternen Dispersion und keine Einrichtung zur Unterdrückung von Mantelmoden enthalten. Daher war es in dieser Arbeit bisher nicht möglich, mantelgepumpte Faserlaser zu konstruieren, die Femtosekunden- oder Pikosekunden-Impulse erzeugen.

[0011] Im Übrigen wird gewürdigt, dass die Druck-

schnitt DE 44 45 244 A1 eine gegenüber Umwelteinflüssen stabile passiv moden-verkoppelte Faserlaser-Impulsquelle offenbart. Diese zeigt die Eigenschaft, Laser-Energie in Form von kurzen Pulsen bei einer festen Wiederholungsrate zu erzeugen. Ein Laser-Resonator von diesem Laser umfasst ein Verstärkungsmaterial zum Verstärken der Laser-Energie in dem Resonator, Reflexionseinrichtungen zum Reflektieren der Laser-Energie entlang einer Achse, die durch das Verstärkungsmaterial durchgeht, und eine Kompensationseinrichtung zum Kompensieren von Phasenverschiebungen in dem Verstärkungsmaterial und dem Resonator. Eine gegenüber umweltbedingten Störungen unempfindliche Laser-Leistung des Lasers wird durch Einbau der Kompensationseinrichtung in dem Resonator erreicht.

Aufgabenstellung

[0012] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Femtosekunden- und Pikosekunden-Impulse von doppelbemantelten, mit Breitbereich-Laserdiodenfeldern gepumpten Faserlasern zu erzeugen. Die Verwendung von doppelbemantelten Fasern vereinfacht die Kopplung von Pumpleistung in den Faserkern bedeutend, während die Möglichkeit der Herstellung einer Hochleistungs-Faseroszillatoreinrichtung bestehen bleibt. Das offenbarte und beanspruchte neue System kompensiert lineare Doppelbrechung der doppelbemantelten Faser vorteilhaft, was zu einer Kompensation von linearen und nichtlinearen Polarisationsverschiebungen in derartigen Fasern führt.

[0013] Experimentelle Ergebnisse zeigen, daß geführte Mantelmoden in derartigen Fasern dazu neigen, eine reine passive Modenverkopplung vom Kerr-Typ (d.h. eine passive Modenverkopplung ohne die Verwendung eines sättigbaren Absorbers) zu vermeiden, auch wenn Modenabstreifeinrichtungen verwendet werden. Die offenbarten Ausführungsbeispiele zeigen optimale Positionen für den Einbau von Modenabstreifeinrichtungen. Die Oszillation von Femtosekunden- und Pikosekunden-Soliton-Impulsen in der Oszillatoreinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird durch Verwendung eines geeigneten Ausmaßes von Dispersion in dem Resonator und Verwendung einer Kombination von Impulsformung induziert durch nichtlineare Polarisationsentwicklung und eines sättigbaren Absorbers sichergestellt. Bei alternativen Anordnungen enthält das System aktiv modenverkoppelte Faserlaser, Faser-Ringlaser und allgemeinere Resonatorentwürfe.

[0014] Die vorstehenden und andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden genauen Beschreibung von derzeit bevorzugten Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung offensichtlich.

[0015] Es zeigen:

[0016] Fig. 1 den Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

[0017] Fig. 2 Autokorrelationskurven (Fig. 2A) und entsprechende Impulsspektren (Fig. 2B) von erzeugten Impulsen mit einer Halbwerts-Breite von 560 fsec,

[0018] Fig. 3 Autokorrelationskurven (Fig. 3A) und entsprechende Impulsspektren (Fig. 3B) von erzeugten Impulsen mit einer Halbwerts-Breite von 3 psec,

[0019] Fig. 4 den Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das ein Abstimmelement und ein zweites Bragg-Gitter enthält,

[0020] Fig. 5 den Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems mit einem dispersions-kompensierten Resonator gemäß einem zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

[0021] Fig. 6 den Aufbau eines mantelgepumpten aktiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem dritten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

[0022] Fig. 7 den Aufbau eines mantelgepumpten aktiv modenverkoppelten Faserlasersystems mit einem Ringresonator gemäß einem vierten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

[0023] Fig. 8 einen Doppeldurchgangs-Aufbau eines mantelgepumpten modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem fünften erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

[0024] Fig. 9 den Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem sechsten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

[0025] Fig. 10 einen alternativen Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem sechsten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel, und

[0026] Fig. 11 einen Aufbau eines mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faserlasersystems gemäß einem siebenten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel.

[0027] Fig. 1 veranschaulicht den Aufbau einer mantelgepumpten passiv modenverkoppelten Faseroszillatoreinrichtung, die Femtosekunden- oder Pi-

kosekunden-Impulse erzeugt, gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem System gemäß dem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel wird nicht versucht, die Dispersion der Verstärkungsfasern zu kompensieren; ein dispersions-kompensierter Resonator wird im folgenden in Verbindung mit Fig. 4 beschrieben. Bei der Anordnung gemäß Fig. 1 wird ein einzelnes Stück einer Er^{3+} -dotierten, mit Yb^{3+} empfindlich gemachten Faser 101 als ein Verstärkungsmaterial verwendet, um ein Pumpen des Er^{3+} über eine Energieübertragung vom Yb^{3+} zu ermöglichen: siehe IEEE Photonics Technology Letters, "Diode-Array Pumping of $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ Co-doped Fiber Lasers and Amplifiers", J.D. Minelly et al., Vol. 5, Nr. 3 (1993).

Ausführungsbeispiel

[0028] Ein zu bevorzugender Aufbau der Faser 101 enthält Er^{3+} und Yb^{3+} Dotierpegel vom 800 ppm bzw. 8000 ppm in einem Phosphoaluminosilikatglass-Grundmaterial. Der Kerndurchmesser der Faser beträgt 6 μm mit einer numerischen Apertur (NA) von 0,16. Der innere Mantel besitzt einen Durchmesser von 100 μm und ist mit silikongummi beschichtet, um dem inneren Mantel eine effektive numerische Apertur von 0,4 zu geben. Gemäß diesem Aufbau ist der Faserkern in der Mitte der Faser 101 angeordnet, um die Möglichkeit einer Bildung von Spleißstellen mit niedrigem Verlust in der doppeltbemantelten Faser 101 zu erlauben. Nichtsdestotrotz wird eine wirksame Absorption von Schrägstrahlen von dem Pumpaser durch Aufwickeln der Faser 101 auf eine Trommel mit einem Durchmesser von 3,5 cm erreicht; demnach kann die Faserlänge in der Oszillatoreinrichtung auf 7,7 m verringert werden. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben auf experimentellem Weg herausgefunden, daß eine gute Laserfunktion mit Verstärkungsfaserlängen zwischen 5 bis 10 m erreicht werden kann. Es wurde festgestellt, daß eine derartige Faser aufgrund einer geringen Elliptizität bzw. Abplattung des Faserkerns und einer Eigen- bzw. Restspannung zwischen dem Faserkern und dem Mantels durch den Herstellungsvorgang eine Doppelbrechung von $\Delta n \sim 1,5 \times 10^{-6}$ zeigt, was zu einer Interferenzlänge von ~ 10 cm bei der Signalwellenlänge von 1,56 μm führt.

[0029] Weiterhin wird gemäß Fig. 1 die Faser 101 über Linsen 108 und 109 und einen dichroitischen Spiegel 102 von einem 1W, $100 \times 1 \mu\text{m}$ Breitbereich-Standard-Laserdiodenfeld 103, das bei einer Wellenlänge von 976 nm arbeitet, gepumpt. Der dichroitische Spiegel 102 kann beispielsweise eine Durchlässigkeit von $> 80\%$ bei der Wellenlänge von 976 nm besitzen und dadurch einen Durchlaß des gepumpten Lichts erlauben, und eine Reflektion $> 98\%$ bei der Signalwellenlänge von 1,56 μm und dadurch die von der Faser austretenden und vom Spiegel 106 reflektierten Signale reflektieren. Bei Verwen-

gang eines Lichtstrahls (wie Linse 108 und 109) mit einer Vergrößerung von 1 kann eine Koppeffizienz bis hinauf zu 60% in den inneren Mantel der aktiven Faser 101 erreicht werden. Die Krümmung der Spiegel 102 und 106 und die Brennweiten der Linsen 108 und 109 werden bevorzugt ausgewählt, um eine optimale Kopplung des gepumpten Lichts von dem Diodenfeld 103 in die doppeltbemanterte Faser 101 zu ergeben.

[0030] Wie in Fig. 1 gezeigt, wird eine Modenabstreifeinrichtung 104 am entgegengesetzten Ende der Faser 101 eingebaut, indem die Silikongummi-beschichtung durch eine Substanz mit hohem Index, wie beispielsweise Akrylat oder eine Flüssigkeit mit einem höheren Brechungsindex als der innere Mantel, ersetzt wird. Die Modenabstreifeinrichtung 104 funktioniert, um Mantelmoden in der Oszillatoreinrichtung stark zu dämpfen. Die Enden der doppeltbemanterten Faser 101 werden in einem Winkel von ungefähr 10° abgeschnitten, um eine Rückkopplung in das Laserdiodenfeld 103 zu vermeiden und ungewollte Rückkopplung in die doppeltbemanterte Faser 101 zu beseitigen.

[0031] Das gechirpte Faser-Bragg-Gitter (CFBG) 105, das im folgenden genauer beschrieben wird, ist an einem Ende des Resonators in Fig. 1 gezeigt. Die Brennweite der Linse 112 wird derart ausgewählt, daß eine optimale Kopplung des Signallichts in das gechirpte Faser-Bragg-Gitter 105 erfolgt. Als eine Alternative kann das System gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel optional angewendet werden, indem das gechirpte Faser-Bragg-Gitter 105 durch einen Spiegel (nicht gezeigt) ersetzt wird. Bei dieser Anordnung wird die Krümmung des Spiegels zusammen mit der Brennweite der Linse 112 bevorzugt ausgewählt, um eine optimale Reflektion des Signallichts von der Spiegelseite in den Kern der doppeltbemanterten Faser 101 zu erreichen.

[0032] Zur Kompensation von linearen Polarisationsverschiebungen in dem Faserresonator enthält der Resonatorentwurf bevorzugterweise zwei Faraday-Dreheinrichtungen 113 und 114, wie sie im vorstehend beschriebenen System 1 verwendet werden. Trotz der niedrigen Doppelbrechung der Faser 101 wurde festgestellt, daß, wenn sie erst einmal gewickelt war, auch Umgebungs-induzierte nichtlineare Polarisationsveränderungen in der Faser 101 minimiert werden konnten. Dies erlaubt vorteilhaft die Verwendung von nichtlinearer Polarisationsentwicklung als der stationäre bzw. kontinuierliche Modenverkopplungs-Mechanismus (siehe System 1), während weiterhin ein hinsichtlich der Umgebung stabiler Resonatorentwurf erhalten wurde. Wie in dem vorstehend beschriebenen System 1 kann die erforderliche Phasenvorspannung zwischen den zwei Polarisations-Eigenmoden der Faser durch Positionierung der Viertelwellenplatte 115 und der Halbwellenplatte

116, wie gezeigt, und Brechen von Licht in einen geeigneten Winkel erreicht werden.

[0033] Ohne das gechirpte Faser-Bragg-Gitter 105 wird die Disperion des Resonators beherrschend durch die Faserdispersion gesteuert und wurde als $D_2 \sim 0,2 \text{ psec}^2$ geschätzt, d.h. die Faser war soliton-unterstützend. Die resonatorinterne Dispersion kann durch optionales Einfügen des 5 mm langen negativ gechirpten Faser-Bragg-Gitters 105, wie in Fig. 1 gezeigt, gesenkt werden.

[0034] Das Gitter 105 besitzt bevorzugterweise eine Bandbreite von 17 nm, ist bei $\sim 1,56 \mu\text{m}$ zentriert, besitzt eine Dispersion von $-3,40 \text{ ps}^2$ und einen Spitzen-Reflektionswert von $\sim 90\%$. Das zu der resonatorinternen Polarisations-einrichtung 117 zurückgeworfene Licht ist als das Ausgangssignal verwendbar. Eine drehbare viertelwellenplatte (nicht gezeigt) kann optional zwischen der Polarisations-einrichtung 117 und dem gechirpten Faser-Bragg-Gitter 105 (oder dem optionalen Spiegel) eingefügt werden, um eine anpaßbare Ausgangssignalkopplung in der zu der in Fig. 1 gezeigten entgegengesetzten Richtung zu erhalten.

[0035] Es wurde festgestellt, daß ohne das Faser-gitter 105 (d.h. mit einem Spiegel) der Faserlaser einen maximale Dauer-Ausgangsleistung von 60 mW erzeugt; eine Faserausgangssignal, das kaum brechungsbegrenzt ist (zu mehr als 99%). Jedoch werden aufgrund der doppeltbemanterten Struktur typischerweise Mantelmoden nicht vollständig unterdrückt, auch bei Anwesenheit einer Modenabstreifeinrichtung 104. Desweiteren kann gestreutes Licht von dem Faserkern (aufgrund von Faserinhomogenitäten und der starken auf die Faser 101 angewendeten Biegung) auch in dem Mantel eingefangen werden und zu einem inkohärenten Hintergrund mit sehr niedrigem Pegel bei dem Faserausgangssignal führen. Insbesondere bei irgendwelchen Faserdiskontinuitäten (z.B. Faserspleißen) kann ein Bruchteil dieses Hintergrunds, der proportional zu $1/N$ ist, wobei N die gesamte Modenanzahl in dem Mantel ist, in den Grundmode rückgekoppelt werden.

[0036] Der inkohärente Hintergrund mit niedrigem Pegel wirkt als ein starkes Injektionssignal für einen Dauerbetrieb des Lasers und daher ist die Initiierung von Modenverkopplung unter derartigen Bedingungen typischerweise schwierig, wie von H.A. Haus und E.P. Ippen, Optics Letters, Vol. 16, S. 1331 (1991) berichtet. In der Tat fanden die Erfinder der vorliegenden Erfindung heraus, daß irgendwelche Versuche, eine Modenverkopplung vom Kerr-Typ in dem vorstehend beschriebenen Resonator durch Oszillieren eines der Resonatorspiegel (wie es im System 1 geschah) zu initiieren, fehlschlugen.

[0037] Erfindungsgemäß kann die Modenverkopplung

lung durch Aufnahmen eines sättigbaren Absorbers 118 an einem Ende des Resonators, wie in **Fig. 1** gezeigt, initiiert werden. Der sättigbare Absorber 118 kann auf InGaAsP basieren, wie in den Systemen 2 und 4 (siehe auch H. Lin et al., CLEO 95, paper JTUE1). Die Strahlungsbehandlung ist erforderlich, um die Lebensdauer des sättigbaren Absorbers zu verringern; im allgemeinen fanden die vorliegenden Erfinder heraus, daß die Ladungsträger-Lebensdauer des sättigbaren Absorbers bevorzugt zehnmal kürzer als die Resonator-Umlaufzeit in dem Laser ist.

[0038] Die Linsen 111 und 110 können zur Fokussierung des Signallichts an dem sättigbaren Absorber verwendet werden, wobei ein Brennpunktdurchmesser von zwischen 2 und 30 μm auf dem Absorber bevorzugterweise in diesem besonderen System verwendet wird.

[0039] In der Gegenwart des sättigbaren Absorbers 118 kann eine selbstbeginnender modenverkoppelter Vorgang zuverlässig erreicht werden, obwohl der Laser immer noch polarisationsempfindlich ist (d.h. empfindlich auf die Einstellung der Viertel- und Halbwellen-Platten 115 und 116), was anzeigt, daß der Absorber 118 die Beginn-Kennlinie des Modenverkopplungsvorgangs steuert, wohingegen eine nichtlineare Polarisationsentwicklung die stationäre bzw. kontinuierliche Impulsformung vorwiegend steuert. Es ist jedoch zu beachten, daß sowohl die nichtlineare Polarisationsentwicklung als auch der sättigbare Absorber 118 eine große Rolle in dem Impulsbildungsverfahren spielen.

[0040] Eine Verringerung in der Polarisationsempfindlichkeit des Systems kann mittels Verringerung des Brennpunktdurchmessers auf dem sättigbaren Absorber 118 erreicht werden. Jedoch resultiert dies in einer damit verbundenen niedrigeren Schadensschwelle des sättigbaren Absorbers 118. Daher wird zum Treffen eines Kompromisses der Brennpunktdurchmesser auf dem sättigbaren Absorber bevorzugterweise irgendwo in dem Bereich zwischen 2 und 30 μm optimiert, abhängig davon, ob die Polarisationsempfindlichkeit oder die Schadensschwelle als für ein besonderes System am wichtigsten betrachtet werden.

[0041] Ähnlich resultiert die Entfernung der Farady-Dreheinrichtungen in einer großen Verringerung in der Laserstabilität, da die große Doppelbrechung in der Faser 101 die Bildung irgendeiner stabilen Impulsformung durch nichtlineare Polarisationsentwicklung verhindert. Die einzigen in diesem Fall erhältlichen stabilen Impulse besitzen Breiten in der Größenordnung von 10fachen psec, was anzeigt, daß sie vorwiegend durch den sättigbaren Absorber geformt werden, wohingegen die Verteilung der nichtlinearen Polarisationsentwicklung unbedeutend ist.

[0042] **Fig. 2** zeigt eine Autokorrelationskurve (**Fig. 2A**) und das entsprechende Spektrum (**Fig. 2B**) der mit dem Resonatorentwurf gemäß **Fig. 1** erzeugten Impulse in der Abwesenheit eines Filtergitters 105. Die Impulsbreite beträgt 560 fsec und das Zeit-Bandbreiten-Produkt ist 0,32, wenn eine sech^2 -Form angenommen wird. Die Impulsenergie beträgt 40 pJ. Bei der Wiederholrate von 13 MHz entspricht dies einer mittleren Ausgangsleistung von 500 μW . Bei diesem Aufbau kann ein Einzelimpulsbetrieb durch Betreiben der Laserdiode mit einer Pumpleistung von nur ~ 150 mW sichergestellt werden. Das maximale Stabilitätssystem für den Einzelimpulsbetrieb wird in diesem Fall für eine angelegte Pumpleistung zwischen 148 und 151 mW erhalten, d.h. die Pumpleistung muß gesteuert werden, daß sie innerhalb $\pm 1\%$ liegt.

[0043] **Fig. 3** zeigt eine Autokorrelationskurve (**Fig. 3A**) und das entsprechende Spektrum (**Fig. 3B**) der in der Gegenwart des Fasergitters 105 (wie in **Fig. 1** gezeigt) erzeugten Impulse. Die Impulsbreite beträgt 3 psec und das Zeit-Bandbreiten-Produkt 0,32, unter der Annahme einer sech^2 -Form. Die Impulsenergie beträgt 1 nJ. Bei der Wiederholrate von 13 MHz entspricht dies einer mittleren Ausgangsleistung von 13 mW. Bei diesem Aufbau kann ein Einzelimpulsbetrieb durch Betätigung der Laserdiode mit einer Pumpleistung von ~ 800 mW sichergestellt werden. Hierbei muß die Pumpleistung innerhalb von nur $\pm 10\%$ gesteuert werden (d.h. 730 bis 880 mW), um den Einzelimpulsbetrieb sicherzustellen. In der Gegenwart des Fasergitters 105 funktioniert der erfindungsgemäße Laser in der Abwesenheit der Modenabstreifeinrichtung 104 zufriedenstellend, so wie eine wirksame Modenabstreifung durch die vor dem Fasergitter 105 angeordnete Monomodenfaser durchgeführt wird.

[0044] Der Aufbau des ersten Ausführungsbeispiels dient nur als ein Beispiel für einen besonderen Resonatorentwurf, der die Erzeugung von Femtosekunden- und Pikosekunden-Impulsen erlaubt. Ebenso kann irgendeine andere mit seltenen Erden dotierte doppelbemanterte Faser als ein Verstärkungsmaterial verwendet werden und kann auch passiv modenverkoppelt werden, um Pikosekunden- und Femtosekunden-Impulse zu erzeugen. Um die Funktion des Systems in dem Soliton-System sicherzustellen, kann ein negativ gechirptes Faser-Bragg-Gitter hinzugefügt werden. Desweiteren können ohne weiteres Wellenlängenabstimmeelemente zwischen der Polarisationsrichtung 117 und der Linse 112 eingefügt werden, um die Emissionswellenlänge des Lasers abzustimmen. Ähnlich können Wellenlängenabstimmeelemente in irgendeines der offenbarten Ausführungsbeispiele aufgenommen werden. Die Wellenlängenabstimmeelemente können aus vielen verfügbaren Einrichtungen, wie beispielsweise Etalons, optischen Filtern, doppelbrechenden Abstimmplatten

und sperrigen Gittern (bulk gratings) ausgewählt werden. Durch Kombination eines (oder mehrerer) Wellenlängenabstimmelements(e) mit einem zweiten (oder mehreren) Bragg-Gitter(n) können auch Impulse bei zwei (oder mehr) verschiedenen Wellenlängen erhalten werden. Ein Beispiel für einen Resonator-entwurf mit zwei Bragg-Gittern 105 und 119 und einem Wellenlängenabstimmelement 120 ist in Fig. 4 gezeigt. Es ist jedoch zu beachten, daß das zweite Bragg-Gitter weggelassen werden kann, wenn nur eine wellenlängenabstimmbarer Einzelwellenlängen-Laser gewünscht ist.

[0045] Fig. 5 veranschaulicht ein zweites Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In den Fig. 5 bis Fig. 11 werden den in den vorangehenden Figuren gezeigten Elementen ähnliche Elemente mit denselben Bezugszahlen bezeichnet. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel kann zur Erzeugung von Femtoimpulsen eine Vereinfachung des Systems durch Anordnen des sättigbaren Absorbers 118 an einem Ende des Resonators, hinter der Polarisations-einrichtung, und durch Positionieren einer integrierten Faraday-Drehspiegeleinrichtung (FRM) 202 am anderen Ende des Resonators, wie in Fig. 5 gezeigt, verwirklicht werden. Durch die Bandbreite des Verstärkungsmaterials (d.h. der Faser 101) beschränkte Impulse können durch Kombination einer Länge einer mantelgepumpten Faser mit negativer (positiver) Dispersion mit einer Länge einer undotierten Standard-Monomodenfaser 201 mit positiver (negativer) Dispersion erhalten werden, um die gesamte Resonatordispersion zu Null zu machen. Hier ist es auch vorteilhaft, irgendeine nichtdoppelbrechende Faser direkt vor der Faraday-Drehspiegeleinrichtung 202 anzuordnen, um die Umgebungsempfindlichkeit des Resonators zu minimieren. Beispielsweise kann eine 5 m Länge der Er/Yb Faser 101 (wie unter Bezugnahme auf Fig. 1 diskutiert) und eine Länge von 0,80 m eine Faser mit hoher positiver Dispersion 201 verwendet werden, um die gesamte Resonatordispersion ungefähr zu Null zu machen. In diesem Fall sind bandbreitenbeschränkte gauß-förmige Impulse mit Impulsenergien bis hinauf zu 50 pJ und Impulsbreiten bis hinunter zu 170 fsec erreichbar.

[0046] Fig. 6 stellt einen Aufbau gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel dar. Durch Einfügen einer zusätzlichen akusto-optischen oder elektro-optischen Modulationseinrichtung in den Resonator kann ein aktiv modenverkoppelter mantelgepumpter Faserlaser konstruiert werden. Derartige Modulationseinrichtungen 301, 302 können bequemerweise entweder am rechten oder linken Ende des Resonators, wie in Fig. 6 gezeigt, angeordnet werden. Bevorzugterweise kann eine drahtangeschlossene ("pig-tailed") Faser-Modulationseinrichtung nur auf der linken Seite des Resonators eingefügt werden, um ein kompaktes System sicherzustellen. Ein Spiegel 303 könnte dann ausgewählt werden, um das Si-

gnallicht nur teilweise zu reflektieren und könnte somit als eine Ausgangskopplungseinrichtung verwendet werden.

[0047] Fig. 7 veranschaulicht ein viertes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 7 gezeigt, kann die doppeltbemannte Faser 101 auch Teil eines Ringresonators sein, um einen modenverkoppelten Ringlaser zu erhalten. Im Prinzip kann eine zusammenstoßende modenverkoppelte Impuls-Funktion in diesem Fall erhalten werden, indem der sättigbare Absorber 118 zwischen den Linsen 111 und 110 angeordnet wird, wie gezeigt. Jedoch ist zu beachten, daß lineare Polarisationsverschiebungen in diesem Resonator nicht kompensiert werden und daher die Langzeit-Stabilität dieses Resonators beschränkt sein kann. Jedoch kann in dieser Art von Resonator eine Modulationseinrichtung 301 irgendwo innerhalb des vom Signallicht durchquerten Rings angeordnet werden. Die Umgebungstabilität des Ringresonators kann durch Verwendung einer hochdoppelbrechenden Faser durch den Resonator sichergestellt werden. Um die Oszillation des Lasers in einem Einzel-Polarisationszustand sicherzustellen, kann eine Polarisations-einrichtung (nicht gezeigt) eingefügt werden, wobei seine Achsen nach einer der Faserachsen ausgerichtet sind. Ein Laserausgangssignal könnte erhalten werden, indem entweder die Spiegel 102 oder 106 teilreflektierend gemacht werden oder eine Faserkoppeleinrichtung auf die Faser 201 gespleißt wird.

[0048] Bei einem fünften Ausführungsbeispiel wird die doppeltbemannte Faser 101 in eine Vielzahl von Resonatorentwürfen eingefügt, wobei die doppeltbemannte Faser 101 in einem Doppel-Pfad-Aufbau in Verbindung mit einer Faraday-Drehspiegeleinrichtung verwendet wird, um Polarisationsverschiebungen in dem Resonator zu kompensieren. Ein allgemeiner Entwurf eines derartigen Resonators ist in Fig. 8 gezeigt. Der zwischen den Spiegeln 102 und 106 angeordnete Modenverkopplungs-Mechanismus 501 kann ein gesamt-optischer Schalter, eine durch eine externe optische Impulsquelle induzierte Phasen- oder Amplitudenmodulation, einen akusto- oder elektrooptische Modulationseinrichtung oder ein sättigbarer Absorber sein. Es ist zu beachten, daß irgendeine Länge der monomodigen Faser auch mittels Spleißen an der doppeltbemannten Faser befestigt werden kann. Hier ist ein Resonatorentwurf gezeigt, bei dem der dichroitische Pumpspegel 502 bei der Übertragung von Signallicht verwendet wird. Es kann auch ein dichroitischer Pumpspegel verwendet werden, der Signallicht reflektiert und Pumplicht durchläßt. Ein Laserausgangssignal könnte durch teilweise reflektierend Machen eines der Spiegel 102 oder 106 erhalten werden.

[0049] Gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel wird eine niedrigdoppelbrechende doppeltbe-

mantelte Faser konstruiert, um ein Femtosekunden-Lasersystem durch Entfernen der Faraday-Dreheinrichtungen, wie in Fig. 9 gezeigt, zu bilden. Alternativ kann mit einem optimierten Faser- und sättigbarem Absorberentwurf der sättigbare Absorber 118 auch direkt mit dem Spiegel 601 zusammengefügt werden. Der Spiegel 107 wird dann keinen sättigbaren Absorber enthalten. Der Spiegel 502 könnte im Prinzip auch beseitigt werden und das Pumplicht könnte über eine einzelne dichroitische Polarisationseinrichtung (nicht gezeigt) in den Resonator gekoppelt werden.

[0050] Wenn einmal die Faraday-Dreheinrichtungen entfernt sind, kann das gechirpte Faser-Bragg-Gitter 105 zu der doppeltbemahtelten Faser 101, wie in Fig. 10 gezeigt, gespleißt werden. Es ist zu beachten, daß durch sehr Kleinmachen der Dispersion des gechirpten Faser-Bragg-Gitters auf diese Weise auf ein Femtosekundenlaser konstruiert werden kann. Das Ausgangssignal eines derartigen Lasers kann bequemerweise an einer Polarisationseinrichtung 117 erhalten werden, wobei die Gesamt-Faser Polarisationssteuereinrichtung angepaßt werden kann, um das gewünschte Ausgangssignal zu geben. Es ist jedoch zu beachten, daß wie in einem Ringresonator die Langzeit-Stabilität derartiger Systeme beschränkt sein wird, da lineare Polarisationsveränderungen in dem Faserresonator nicht kompensiert werden. Derartige Stabilitätsprobleme können durch Verwendung eines sättigbaren Absorbers mit einer kurzen Ladungsträger-Lebensdauer (< 100 psec) beseitigt werden. Alternativ kann der gesamte Resonator als hoch-doppelbrechende Faser gemacht werden. Wie beim Ringresonator sollten dann die Polarisationsachsen aller Fasern ausgerichtet sein und sollte die Polarisationsrichtung auch zu einer der Polarisationsachsen der Fasern ausgerichtet sein. Eine Ausgangssignalkopplung kann dann von einer Polarisations-Beibehaltungs-Koppeleinrichtung erhalten werden.

[0051] Gemäß einem siebenten Ausführungsbeispiel, bei dem die Faraday-Dreheinrichtungen entfernt sind, kann ein gechirptes Faser-Bragg-Gitter 701 direkt in der Faser 101 gebildet werden, um ein Pikosekunden-(oder Femtosekunden-)Lasersystem, wie in Fig. 11 gezeigt, zu erzeugen. Der sättigbare Absorber 118 kann direkt mit dem einen Ende des Resonators zusammengefügt werden, um ein sehr kompaktes System zu ergeben. Der Spiegel 107 und der sättigbare Absorber können teilreflektierend gemacht werden, um eine Ausgangssignalkopplung zu ermöglichen. Alternativ kann eine Faserkoppeleinrichtung vor dem Spiegel 107 eingeführt werden, um eine Ausgangssignalkopplung zu erzeugen.

[0052] Zusammengefaßt, wurden eine Femtosekunden- und eine Pikosekunden-Impulserzeugung in doppeltbemahtelten mit seltenen Erden dotierten Fa-

ser, die von Breitbereich-Laserdiodenfeldern gepumpt werden, das erste Mal demonstriert. Die vorwiegende Verwendung für Resonatorkomponenten mit niedrigen Kosten sollte die Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologie bedeutend erhöhen. Obwohl hier zahlreiche beispielhafte Ausführungsbeispiele gezeigt und beschrieben wurden, wird der Fachmann erkennen, daß zahlreiche Modifizierungen und Veränderungen möglich sind und es ist beabsichtigt, daß die Erfindung nur durch die anhängenden Ansprüche beschränkt ist.

[0053] Es wird eine Technik zur Erzeugung von Pikosekunden- und Femtosekunden-Impulsen von modenverkoppelten doppeltbemahtelten, mit Breitbereich-Laserdiodenfeldern mantelgepumpten Faserlasern offenbart. Unter Verwendung einer Erbium/Ytterbium-Faseroszillatoreinrichtung werden 560 fsec Impulse mit Impulsenergien von bis zu 40 pJ bei einer Wellenlänge von 1560 nm erzeugt. In einem dispersions-kompensierten Resonator werden Impulse so kurz wie 170 fsec mit Impulsenergien von bis zu 50 pJ erhalten. Durch Addition eines gechirpten Faser-Bragg-Gitters zur zusätzlichen resonatorinternen Dispersionssteuerung werden Impulsbreiten von 3 psec mit Impulsenergien von bis zu 1 nJ erhalten. Ein sättigbarer Absorber wird zum Impulsbeginn verwendet, wobei eine nichtlineare Polarisationsentwicklung für eine stationäre bzw. kontinuierliche Impulsformung ausgenutzt wird. Ein umgebungsstabiler Entwurf wird durch Verwendung von doppelbrechen den Fasern und einem Kompensationschema für linear und nichtlineare Polarisationsverschiebungen in dem Resonator sichergestellt.

Patentansprüche

1. Modenverkoppelter Laser mit:
einer doppeltbemahtelten, in einem Resonator angeordneten und als ein Verstärkungsmaterial funktionierenden Faser (101) zur Erzeugung von Laserenergie in Form von Impulsen,
einem mit einem Ende der doppeltbemahtelten Faser gekoppelten Laserdiodenfeld (103) zum Pumpen der doppeltbemahtelten Faser mit Pumplicht,
einer Ausgangseinrichtung (117) zum Empfang von innerhalb des Resonators erzeugter Laserenergie und zur Ausgabe eines Teils der Laserenergie,
einer Modenverkopplungs-Initiierungseinrichtung (118; 301, 302) zur Initiierung einer Erzeugung von kurzen Impulsen in dem Resonator,
einer Einrichtung (105; 201) zur Steuerung der Dispersion in dem Resonator, und
einer Einrichtung (104) zur Unterdrückung von Mantelmoden in der doppeltbemahtelten Faser.

2. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Modenverkopplungs-Initiierungseinrichtung einen sättigbaren Halbleiter-Absorber enthält.

wobei der sättigbare Halbleiter-Absorber an einem Ende des Resonators angeordnet und teilreflektierend ist, um eine Ausgangssignalkopplung zu erzeugen.

4. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 2, wobei innerhalb des Resonators enthaltene Fasern eine Doppelbrechung von weniger als 5×10^{-7} besitzen, und der sättigbare Halbleiter-Absorber eine Ladungsträger-Lebensdauer von weniger als 100 psec aufweist.

5. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Modenverkopplungs-Initiierungseinrichtung eine akustooptische oder elektro-optische Modulationseinrichtung (301, 302) ist, die mit einer externen optischen Impulsquelle eine Amplituden- oder Phasenmodulation induziert.

6. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, mit einer Einrichtung (113, 114) zur Kompensation von linearen Phasenverschiebungen innerhalb der doppeltbementelten Faser.

7. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 6, wobei die doppeltbementelte Faser eine Doppelbrechung größer als 1×10^{-7} besitzt, um nichtlineare Impulsformung durch nichtlineare Polarisationsentwicklung in der Anwesenheit der Einrichtung zur Kompensation von linearen Phasenverschiebungen in dem Resonator zu stabilisieren.

8. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 7, mit einer Viertel-Wellenplatte (115) und einer Halb-Wellenplatte (116), die zur Steuerung einer linearen Phasenverzögerung zwischen zwei Polarisations-Eigenmoden der doppeltbementelten Faser verwendet werden.

9. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 6, wobei die Einrichtung zur Kompensation (113, 114) von linearen Phasenverschiebungen erste und zweite innerhalb des Resonators angeordnete Faraday-Dreheinrichtungen aufweisen, wobei die erste Faraday-Dreheinrichtung zu einem Ende des Resonators hin angeordnet ist und die zweite Faraday-Dreheinrichtung zu dem anderen Ende des Resonators hin angeordnet ist, und der Laser weiterhin eine zwischen der ersten Faraday-Dreheinrichtung und dem einen Ende des Resonators angeordnete Polarisierungseinrichtung (117) aufweist.

10. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 9, mit einer Viertel-Wellenplatte (115) und einer Halb-Wellenplatte (116), die zur Steuerung einer linearen Phasenverzögerung zwischen zwei Polarisations-Eigenmoden der doppeltbementelten Faser verwendet werden.

mit einer zwischen der Polarisierungseinrichtung und dem einen Ende des Resonators angeordneten Halb-Wellenplatte (116), wobei die Halb-Wellenplatte eine anpaßbare Ausgangskopplung bildet.

12. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 6, wobei die Einrichtung zur Kompensation von linearen Phasenverschiebungen eine zum einen Ende des Resonators hin angeordnete erste Faraday-Dreheinrichtung und eine am anderen Ende des Hohlraums angeordnete Faraday-Drehspiegeleinrichtung aufweist, wobei der modenverkoppelte Laser weiterhin eine zwischen der ersten Faraday-Dreheinrichtung und dem einen Ende des Resonators angeordnete Polarisierungseinrichtung (117) aufweist.

13. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 12, mit einer Faser mit niedriger Doppelbrechung mit einer Doppelbrechung von weniger als 1×10^{-7} , wobei die Faser mit niedriger Doppelbrechung vor dem Faraday-Drehspiegeleinrichtung angeordnet ist.

14. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung zur Steuerung der Dispersion eine Dispersion-Kompensationsfaser (201) ist.

15. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 14, wobei die Dispersions-Kompensationsfaser an einem Ende des Resonators gespleißt ist.

16. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung zur Steuerung der Dispersion ein gechirptes Faser-Bragg-Gitter ist.

17. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 16, wobei das gechirpte Faser-Bragg-Gitter direkt in der doppeltbementelten Faser gebildet ist, so daß die doppeltbementelte Faser über das gechirpte Faser-Bragg-Gitter gepumpt wird.

18. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 16, wobei das gechirpte Faser-Bragg-Gitter an ein Ende des Resonators gespleißt ist.

19. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 16, mit einem zweiten, innerhalb des Resonators angeordneten gechirpten Faser-Bragg-Gitter.

20. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die doppeltbementelte Faser eine mit Material aus seltenen Erden dotierte Glasfaser ist.

21. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Ausgabeinrichtung (303) eine zur Ausgabe kopplung verwendete Faserkoppeleinrichtung ist.

22. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei innerhalb des Resonators enthaltene Fasern polarisationsbeibehaltend sind, mit einer linearen

Doppelbrechung größer als 5×10^{-7} und ausgerichteten Polarisationsachsen, wobei der Laser weiterhin eine Polarisationseinrichtung mit in einer der Polarisationsachsen der Fasern ausgerichteten Achse aufweist.

23. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei der Resonator ein Ringresonator ist und der modenverkoppelte Laser weiterhin monomodige Fasern und einen Modenverkopplungs-Mechanismus aufweist, die innerhalb des Ringresonators angeordnet sind.

24. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, mit einer Faraday-Drehspiegeleinrichtung (202) zur Kompensation von linearen Phasenverschiebungen in der doppelbemantelten Faser und einer Polarisationseinrichtung und einer Halb-Wellenplatte, die zusammen eine Kompensation für die durch den Faraday-Drehspiegeleinrichtung induzierte 90° Polarisationsdrehung bilden, aufweist.

25. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, mit einer Abstimmereinrichtung (120) zur Wellenlängenabstimmung einer Ausgangswellenlänge, wobei die Abstimmereinrichtung zumindest eines von Etalons, optischen Filtern, doppelbrechenden Abstimmplatten und sperrigen Gittern aufweist.

26. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Impulse kürzer als 100 ps sind.

27. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, ferner mit einer innerhalb des Resonators angeordneten Reflektoreinrichtung (102) zur Reflektion von Energie entlang einer die doppelbemantelte Faser passierenden Achse.

28. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung zur Unterdrückung von Mantelmoden in der doppelbemantelten Faser eine Einzelmodenfaser aufweist, die mit der doppelbemantelten Faser verbundene Mantelmoden nicht leitet.

29. Modenverkoppelter Laser nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung zur Unterdrückung von Mantelmoden in der doppelbemantelten Faser eine Modenabstreifeinrichtung (104) aufweist, die geleitete Mantelmoden entfernt.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

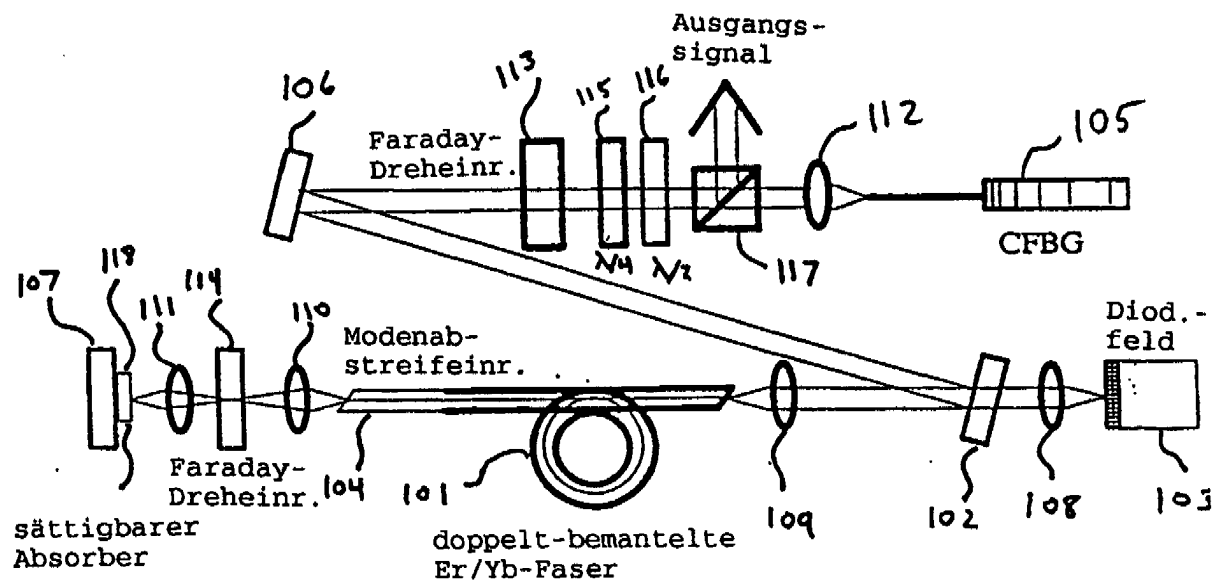


Fig. 1

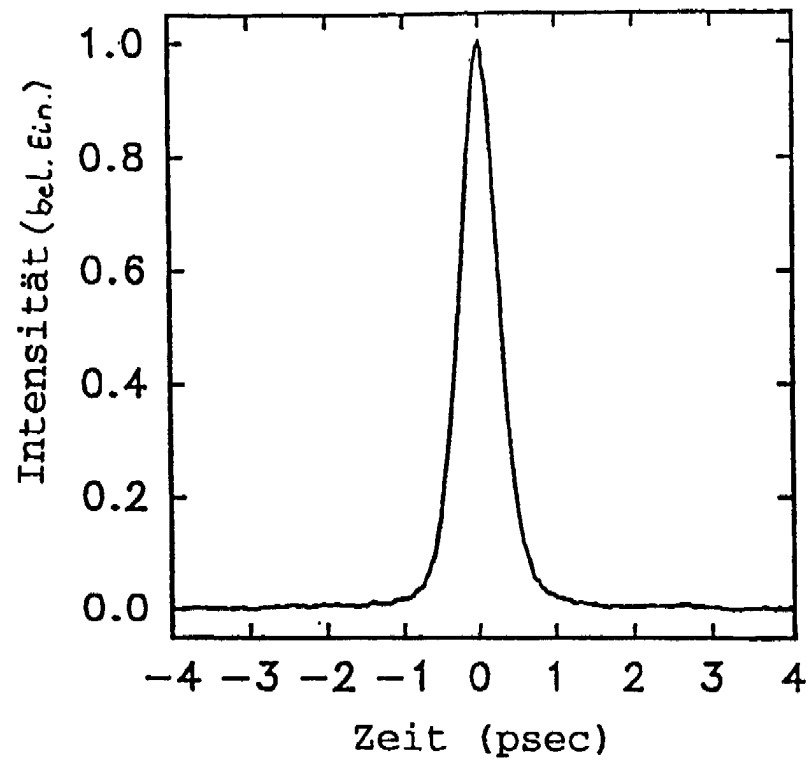


Fig. 2A

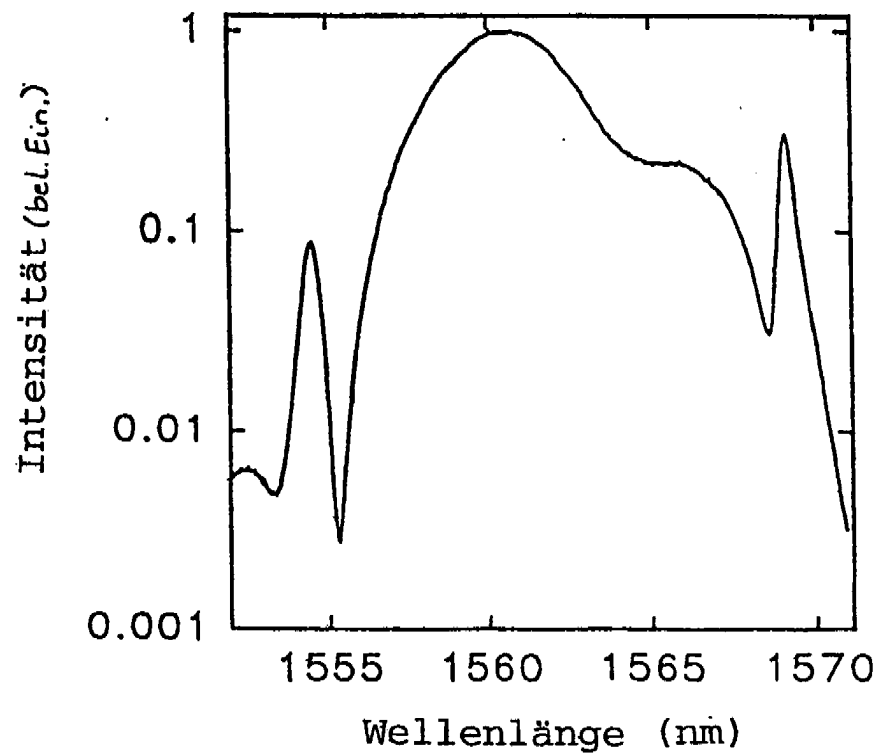


Fig. 2B

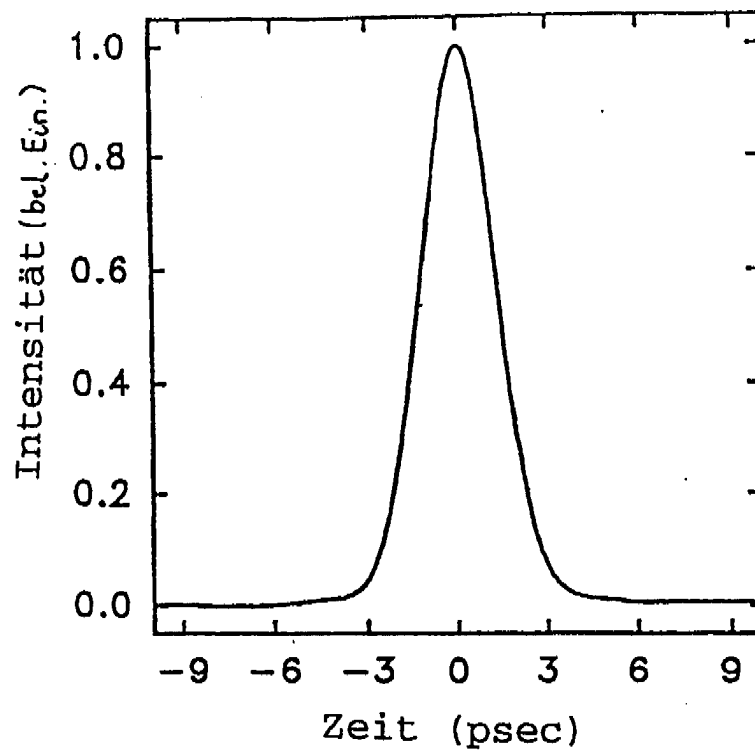


Fig. 3A

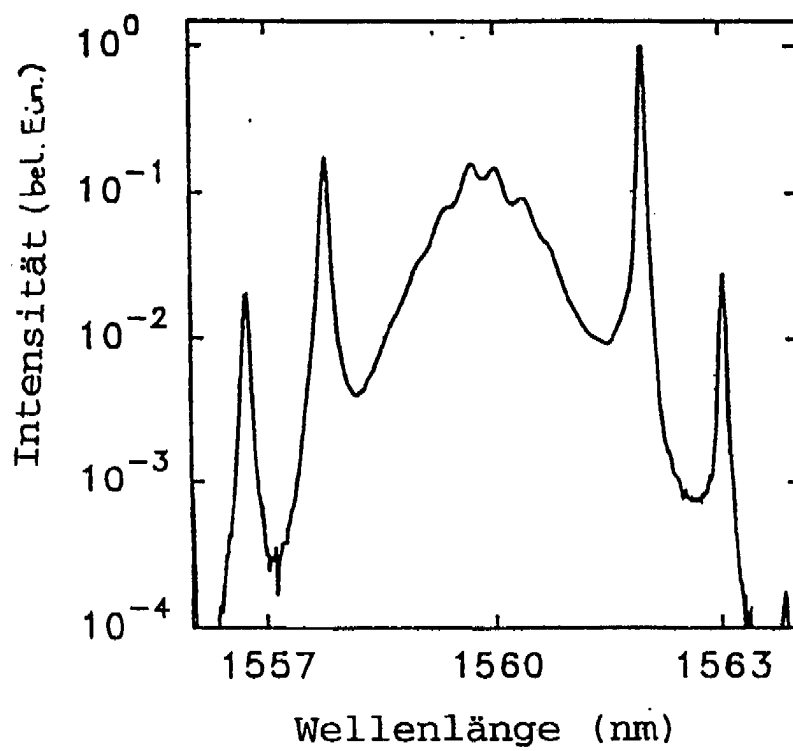


Fig. 3B

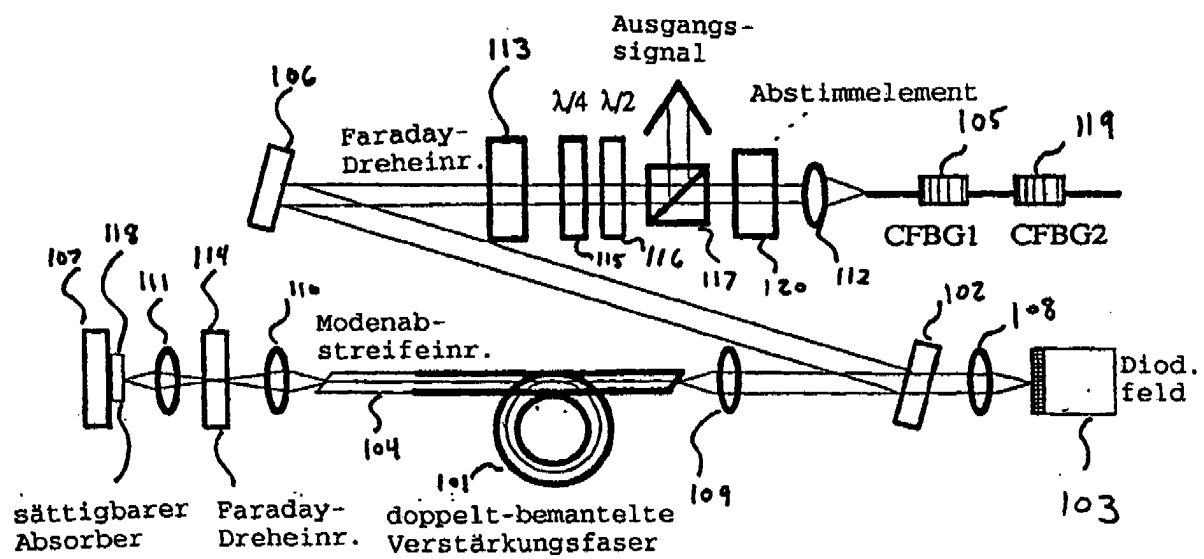


Fig. 4

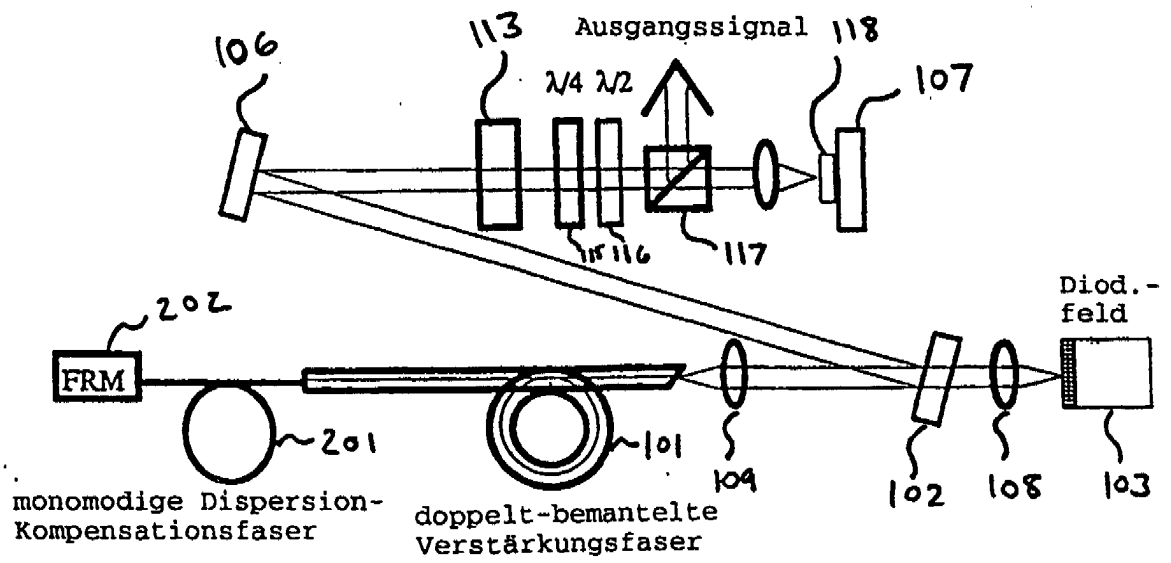


Fig. 5

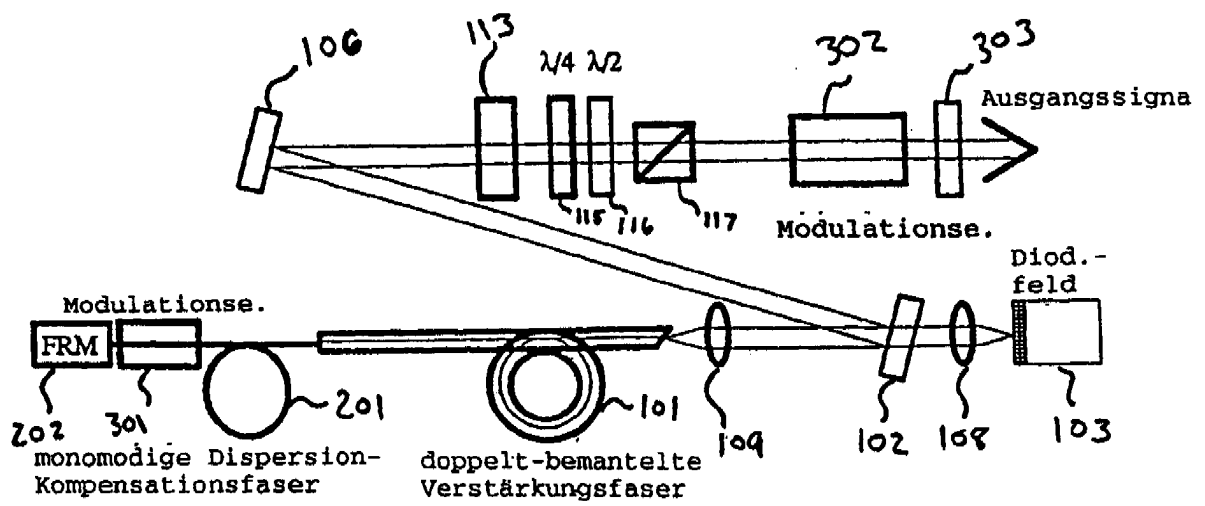


Fig. 6

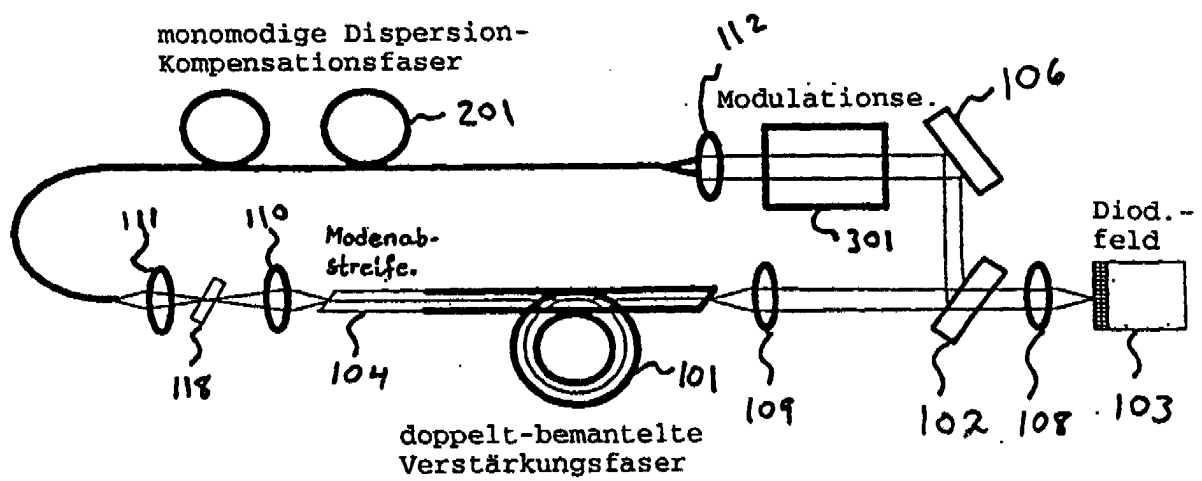


Fig. 7

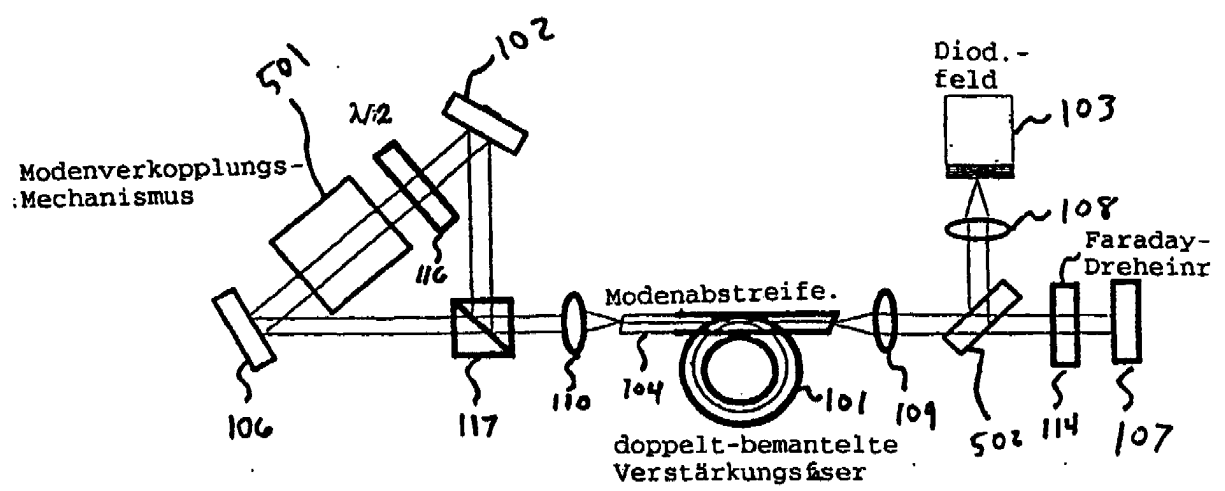


Fig. 8

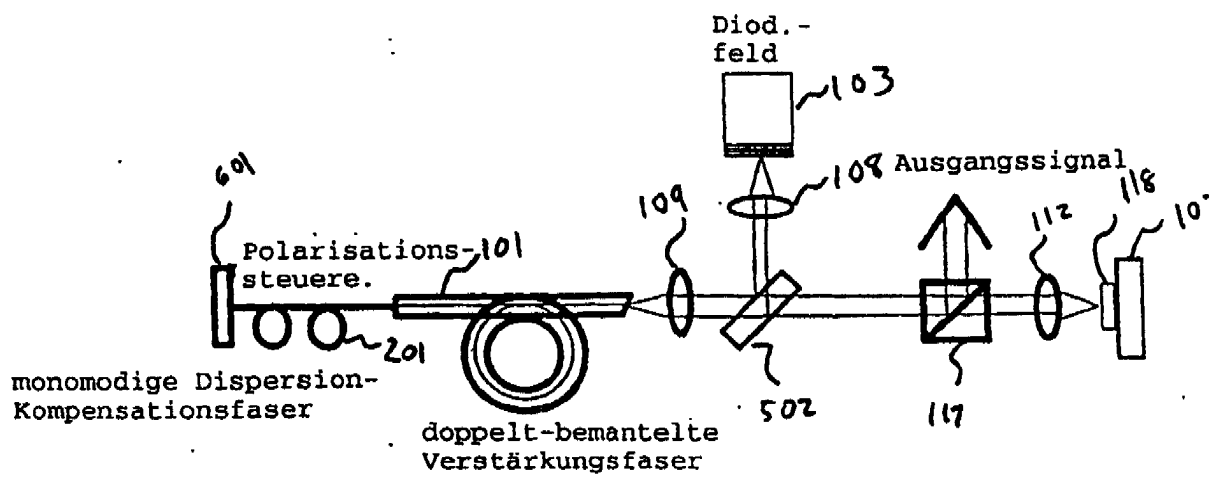


Fig. 9

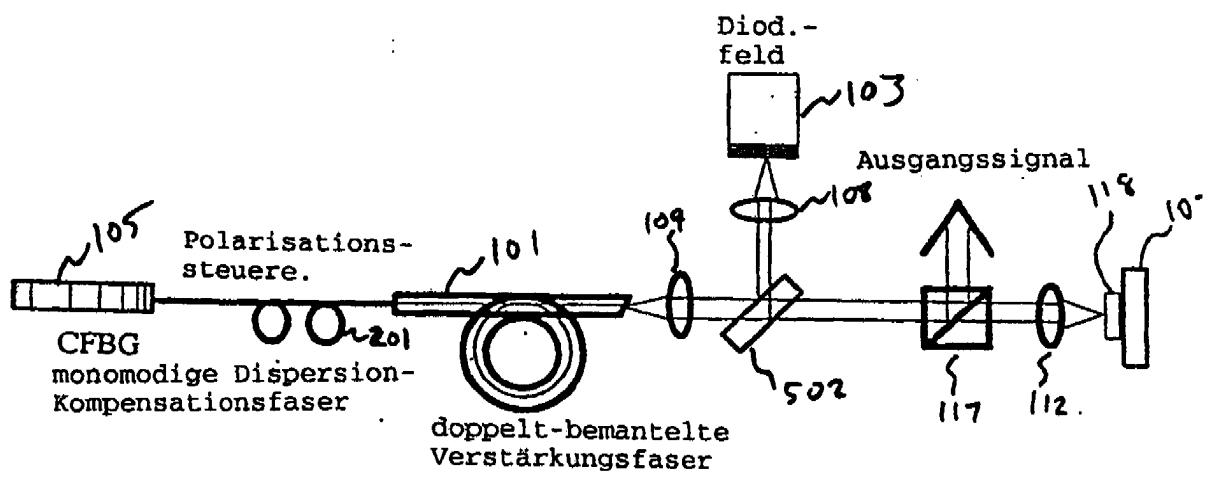


Fig. 10

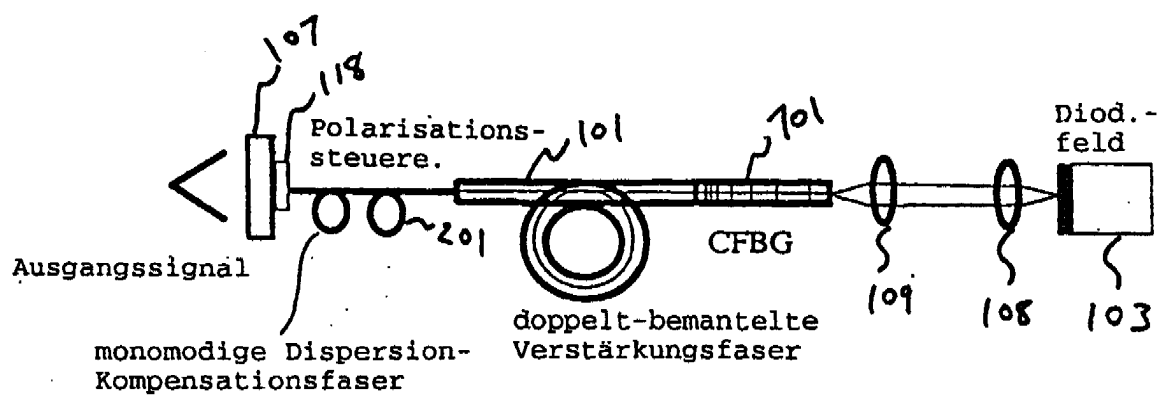


Fig. 11